

[simmetrie]

anno 6 numero **11** / 4.11

**asimmetrie**

rivista trimestrale dell'Istituto  
Nazionale di Fisica Nucleare

# asimmetrie

L'astrazione della matematica e le sue forti connessioni con la descrizione dei fenomeni fisici naturali immancabilmente affascinano e attraggono. La matematica moderna rappresenta uno strumento essenziale e una fonte continua d'ispirazione nell'interpretazione dei fenomeni della natura. Questa relazione tra il mondo astratto dei numeri e il ricco e complesso mondo dei fenomeni naturali dà forma a una creatività scientifica in tutto affine a quella artistica. Nel suo evolvere continuo la matematica porta a immaginare nuove costruzioni e ci spinge verso descrizioni del mondo naturale sempre più inattese e profonde.

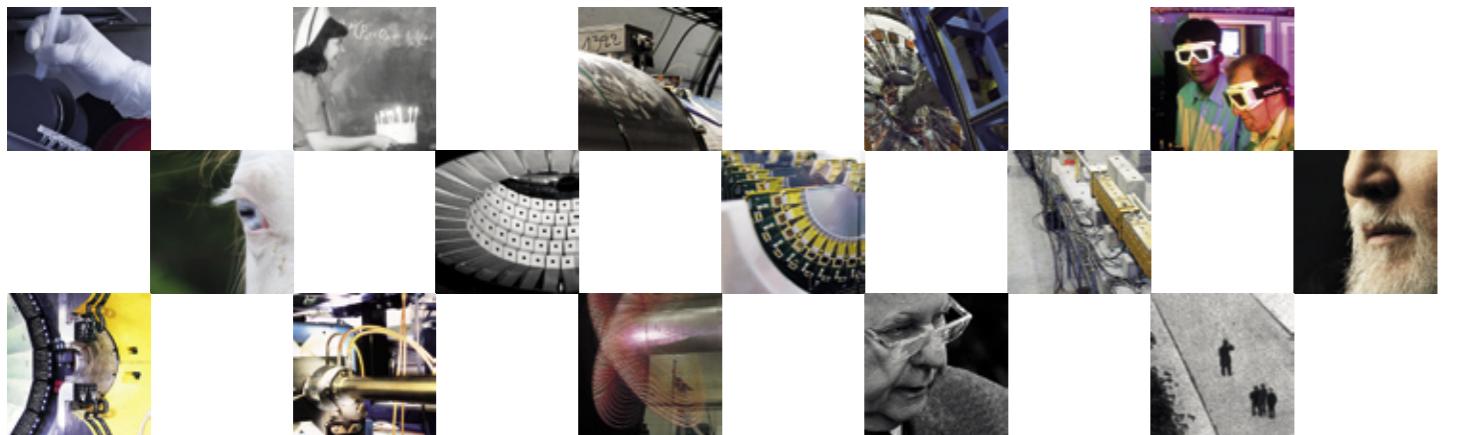
Tra i protagonisti di questa evoluzione scientifica emerge la figura grande e coraggiosa della matematica Emmy Noether. Nei risultati del suo lavoro, pubblicati nel 1918, si stabiliva la relazione tra le caratteristiche d'invarianza o simmetria delle leggi fisiche e l'esistenza di quantità che si conservano negli stessi sistemi fisici, quantità misurabili che rimangono invariate, indipendentemente da quale tipo di cambiamento questo sistema subisca. Il principio di conservazione dell'energia, ad esempio, è dovuto all'invarianza delle leggi fisiche rispetto al tempo ed emerge come una semplice applicazione del teorema di Noether, che stabilisce il legame tra le simmetrie di un sistema fisico e le leggi che governano il suo comportamento: "per ogni simmetria

che caratterizza una legge della fisica c'è una corrispondente quantità osservabile che si conserva".

Semplicità essenziale della natura! Le leggi che la governano sono indipendenti dall'istante e dal luogo in cui esse agiscono, la conservazione dell'energia e della quantità di moto sono conseguenza di un'innata proprietà dello spaziotempo.

Il concetto di simmetria va dunque oltre la connotazione intuitiva che richiama le simmetrie in arte, in architettura o nel mondo vivente e assume qui un significato rigoroso. Si parla di simmetrie ogni volta che esistono trasformazioni che lasciano invariata la descrizione del sistema. L'evoluzione dei modelli matematici ha consentito di far coesistere all'interno dello stesso sistema fisico diversi tipi di simmetria, ammettendone anche sottili violazioni: si parla in questo caso di *rottura di simmetria*. Questi modelli hanno permesso di proporre schemi descrittivi unici per diversi tipi d'interazione. Dall'interazione elettromagnetica e da quella debole, che regola i decadimenti dei nuclei radioattivi, si è giunti alla teoria elettro-debole. In questo processo di unificazione delle interazioni è chiaro ed evidente il programma di ricerca teorica e sperimentale, di grande respiro, che si propone di condurre la fisica delle particelle attraverso il modello standard e le supersimmetrie a un unico quadro concettuale.

Andrea Vacchi



as

# 11 / 4.11 [simmetrie]

**asimmetrie**  
Rivista dell'Istituto Nazionale  
di Fisica Nucleare

Trimestrale, anno 6,  
numero 11 aprile 2011

**direttore responsabile**  
Roberto Petronzio, presidente *lnfn*

**direttore editoriale**  
Andrea Vacchi

**comitato scientifico**  
Danilo Babusci  
Piera Sapienza  
Crisostomo Sciacca  
Amedeo Staiano  
Andrea Vacchi

**caporedattore**  
Catia Peduto

**redazione**  
Vincenzo Napolano  
Francesca Scianitti  
Antonella Varaschin

Francesca Cuicchio  
(infografica)

**hanno collaborato**  
Silvio Bergia, Fabio Bossi, Pierluigi  
Campana, Paolo Gambino, Marcello  
Giorgi, Enrico Iacopini, Antonio Masiero,  
Moni Ovadia, Roberto Petronzio,  
Massimo Pietroni, Marco S. Sozzi

**redazione**  
Infn Ufficio Comunicazione  
piazza dei Caprettari 70  
I-00186 Roma  
T +39 06 6868162  
F +39 06 68307944  
comunicazione@presid.infn.it  
www.infn.it

**art direction  
e impaginazione**  
Marco Stulle / S lab

**coordinamento  
redazione grafica**  
Sara Stulle / S lab

**sviluppo webzine**  
S lab con Massimo Angelini

**stampa**  
Graphart srl, Trieste

su carta di pura cellulosa  
ecologica ECF  
Fedrigoni Symbol™ Tatami  
250 - 135 g/m<sup>2</sup>  
Registrazione del Tribunale di Roma  
numero 435/2005 dell'8 novembre 2005.  
Rivista pubblicata da *lnfn*.  
Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della  
rivista può essere riprodotta, rielaborata o  
diffusa senza autorizzazione scritta dell'*lnfn*,  
proprietario della pubblicazione.

Finita di stampare nel mese  
di aprile 2011. Tiratura 15.000 copie.

**come abbonarsi**  
L'abbonamento è gratuito.  
Tre modi per abbonarsi:

Compilare l'apposito form sul sito  
[www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it)

Inviare una mail di richiesta a  
[comunicazione@presid.infn.it](mailto:comunicazione@presid.infn.it)

Contattare la redazione

**webzine**  
Asimmetrie 11 e tutti i numeri precedenti  
della rivista sono disponibili anche  
on line su [www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it)

**crediti iconografici**  
Copertina ©Marco Stulle // foto p. 4 ©Marco  
Stulle; figg. a-g pp. 6-8 ©Infn (F. Cuicchio);  
foto h, i p. 9 ©Cern; fig. l p. 10 ©Infn (S lab);  
foto m p. 11 ©Cern; fig. 1 p. 13 ©Infn  
(F. Cuicchio/S lab) // foto p. 16 ©Marco Stulle;  
fig. a p. 18 ©Infn (S lab); foto c p. 19  
©Marcella Bona // foto a p. 20 ©Babar, Slac;  
fig. b p. 21 ©Infn (S lab); figg. c,d p. 22-23 ©Infn  
(F. Cuicchio/S lab); foto 1 p. 24 ©Paul Scherrer  
Institut // fig. p. 25 ©Infn (F. Cuicchio); foto b  
p. 27 ©Infn // fig. a-d pp. 28-29 ©Infn  
(F. Cuicchio/S lab); foto e p. 30 ©AIP Emilio Segre  
Visual Archives, Physics Today Collection //  
foto a,b pp. 31-32 ©Cern // foto p. 33, a. p.34  
©C. Federici, Lnf-Infn // fig. 1 p. 36 ©Infn  
(F. Cuicchio); foto a p. 37 ©Kek; foto b p. 37  
©Slac; fig. 1,2 p. 38 ©Cern//fig. a p. 40 ©Infn  
(F. Cuicchio); fig. b p. 41 ©S lab; foto c p. 41  
©Slac // foto p. 43 ©P. Settanni // foto a p.  
44 ©Infn // foto a, b pp. 45-46 ©C. Baroni,  
Fbk // p. 48 Piombo ©Cern, Superb © SuperB  
Collaboration, Antimateria ©Cern.  
Ci scusiamo se, per cause del tutto indipendenti  
dalla nostra volontà, avessimo omesso o citato  
erroneamente alcune fonti.

Per l'immagine di copertina si ringraziano  
Anita Semerani e la sua famiglia.  
Per l'immagine di pagina 16 si ringraziano  
Corrado e Roberta Greco dell'azienda  
Le Torri di Silvia.

**Il mistero della simmetria**  
di Antonio Masiero e Massimo Pietroni

4

**Bellezza asimmetrica**  
di Crisostomo Sciacca  
approfondimenti di  
Pierluigi Campana

35

**[as] radici**  
Emmy Noether, simmetrie  
e leggi di conservazione.  
di Silvio Bergia

14

**Una fabbrica di fascino  
e bellezza**  
di Marcello Giorgi

39

**Elogio delle imperfezioni**  
di Marco S. Sozzi

16

**[as] con altri occhi**  
La relatività sabbatica.  
di Moni Ovadia

42

**Quark e sapori**  
di Paolo Gambino

20

**[as] incontri**  
Tutti a bordo sul Bus della scienza.

44

**Calcolando per punti**  
di Roberto Petronzio

25

**[as] tecnologia e ricerca**  
Quando si dice ricerca e sviluppo.  
di Francesca Scianitti

45

**Lo strano caso  
dei mesoni K**  
di Enrico Iacopini e Francesca Scianitti

28

**[as] benvenuti a bordo**  
Aggiustare simmetrie.  
di Catia Peduto

47

**Assedio ai K**  
di Enrico Iacopini

31

**[as] news**

48

**I K made in Italy**  
di Fabio Bossi

33

asimmetrie 11 / 4.11 / sommario

# Il mistero della simmetria

Dall'Alhambra alle particelle.

di Antonio Masiero e Massimo Pietroni

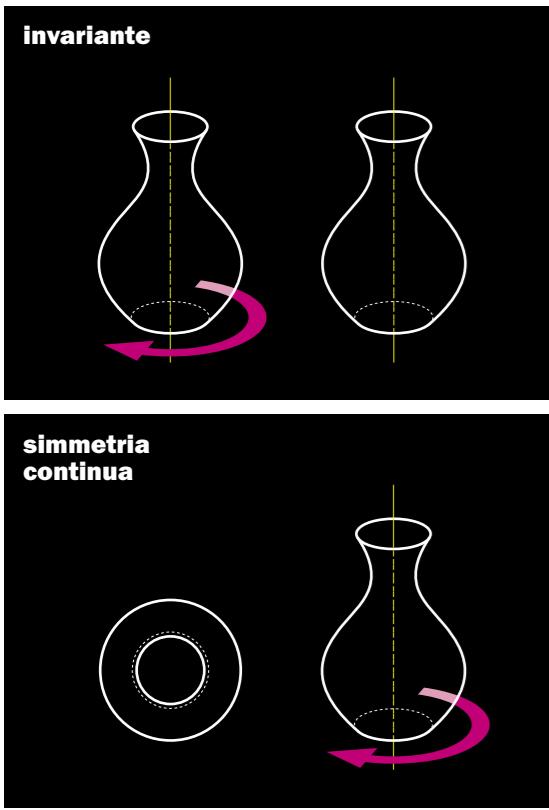


La simmetria permea un po' tutta la nostra vita e il nostro rapporto con il mondo esterno, dai primi anni di vita in cui sperimentiamo la simmetria di piante, animali, oggetti, musica, disegni, fino a quando un giorno entriamo nell'Alhambra di Granada o ci soffermiamo davanti ai quadri di Escher, il "pittore dei matematici", o ascoltiamo una sonata di Bach. Ma la simmetria non è solo qualcosa che percepiamo guardando ciò che ci circonda e che cerchiamo di riprodurre in vario modo nelle nostre espressioni artistiche, qualcosa che ci produce quel misto di piacere e stupore che sta dietro la sensazione di armonia. La simmetria diventa per i fisici anche uno strumento potentissimo di conoscenza. Come espresso dalle parole di Steven Weinberg, nella sua *Dirac Memorial lecture* del 1986: "At the deepest level, all we find are symmetries and responses to symmetries" (al livello più profondo, tutto quello che troviamo sono simmetrie, e risposte alle simmetrie).

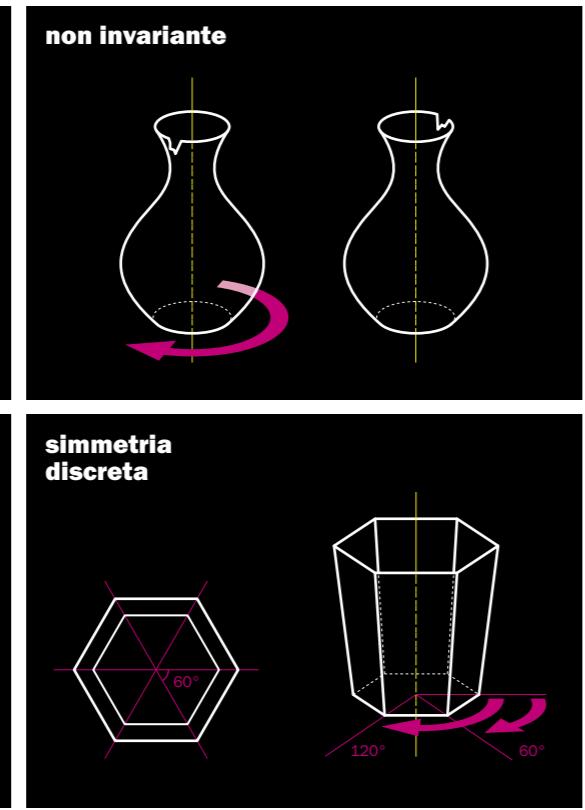
Ma cos'è una simmetria? In essenza, possiamo dire che è l'espressione di una "uguaglianza tra cose": cose che possono essere differenti oggetti oppure uno stesso oggetto che si presenta sempre nello stesso modo, prima e dopo una qualche operazione che abbiamo compiuto su di esso. Se si considera un "oggetto" (un vaso, una molecola, una particella elementare, un pianeta o l'intero universo) come un *sistema fisico*, diciamo che questo possiede una certa *simmetria* quando le sue proprietà, dopo la trasformazione che abbiamo operato su di esso, sono indistinguibili da quelle che aveva prima. Pensiamo, ad esempio, a un vaso: se lo ruotiamo il suo aspetto ci appare sempre lo stesso. In questo caso diciamo che il vaso è *invariante* sotto una qualunque rotazione attorno all'asse di simmetria, la linea immaginaria perpendicolare al tavolo che attraversa il centro del vaso (vd. fig. a). Se, malauguratamente, il vaso è scheggiato in un qualche punto, questa simmetria si perde, "è rotta", e una rotazione del vaso non passerà inosservata alla guardia del museo in cui, ad esempio, il vaso è esposto (vd. fig. b). In sostanza, quindi, la simmetria è un'*invarianza* di un sistema fisico sottoposto a un cambiamento, chiamato *trasformazione di simmetria*. Ci sono diversi tipi di trasformazioni di simmetria. Per esempio, se il vaso ha una base circolare (è un vaso, cioè, di tipo cilindrico) allora è invariante per rotazioni attorno al suo asse, di un qualunque angolo: in questo caso la simmetria è *continua* (vd. fig. c). Se invece il vaso è, per esempio, esagonale, l'invarianza sarebbe presente solo per rotazioni a scatti di 60 gradi (o multipli di 60 gradi); in questo caso è una simmetria *discreta* (vd. fig. d). Se poi immaginiamo di moltiplicare all'infinito i vasi, e di metterne uno in ogni punto dello spazio, le possibili simmetrie si ampliano. Possiamo ruotare tutti i vasi di uno stesso angolo, nel qual caso avremmo fatto una trasformazione *globale* (vd. fig. e), oppure possiamo decidere di ruotare ogni vaso di un angolo differente, realizzando così una trasformazione *locale*, o *di gauge* (vd. fig. f).

Considerazioni di questo tipo sarebbero rimaste delizie per matematici se non fosse intervenuta Emmy Noether, probabilmente la più grande matematica mai vissuta, di cui si parlerà a p. 14. Il suo teorema del 1918 stabilisce che in corrispondenza a ogni simmetria continua delle leggi fisiche vi è

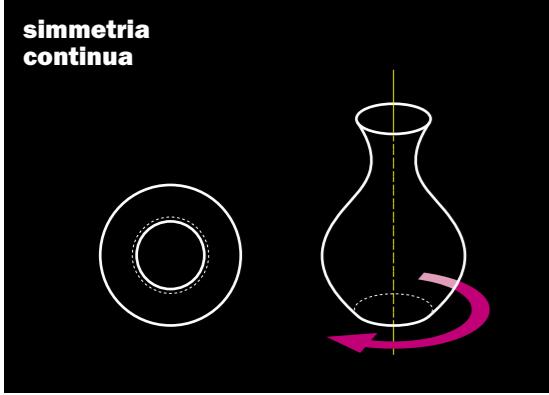
<  
L'arco di ingresso al Cuarto dorado (Golden room) dell'Alhambra di Granada.



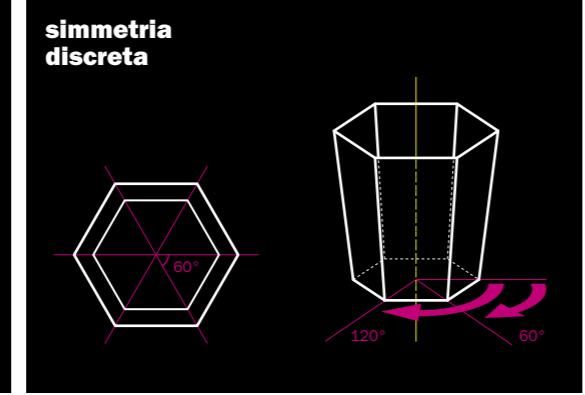
invariante



non invariante



simmetria continua

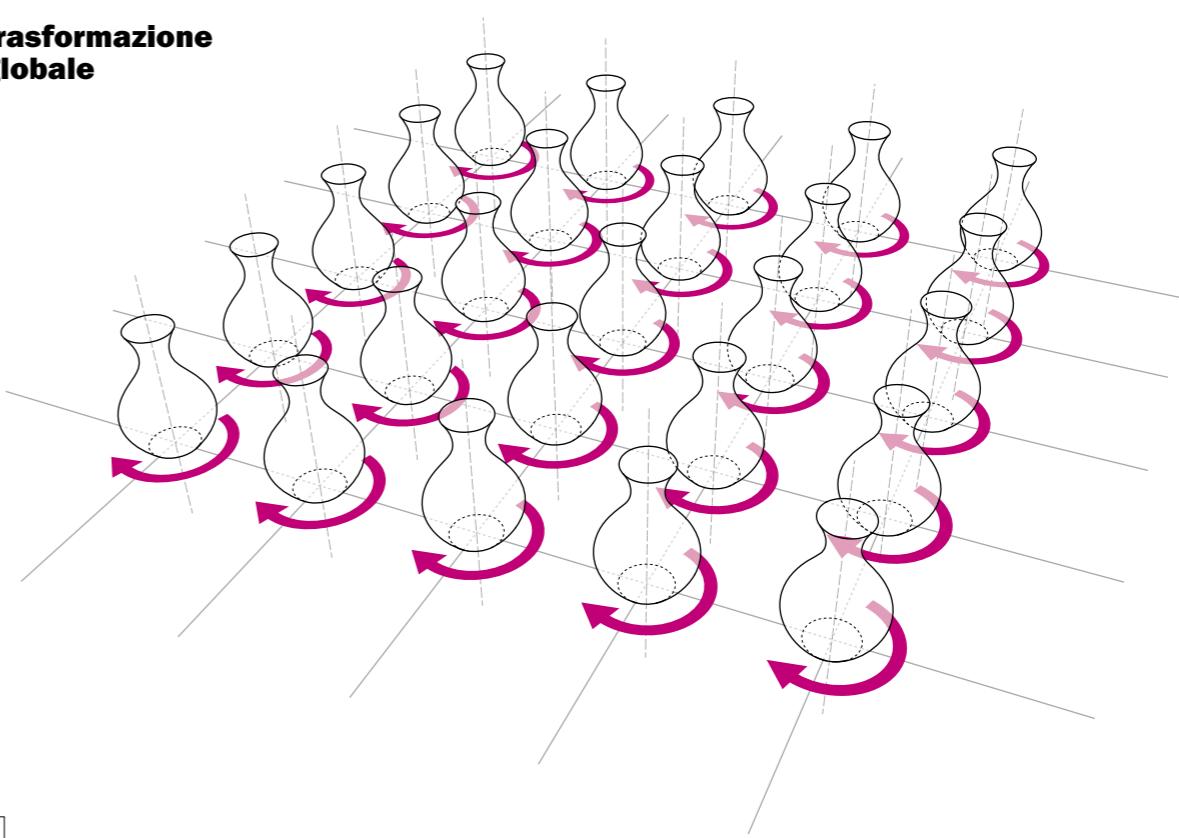


simmetria discreta

una legge di conservazione e una corrispondente quantità conservata, cioè una quantità fisica misurabile che, qualunque sia il processo considerato, non cambia (ad es. l'energia totale di un sistema fisico). Ma c'è di più: anche il viceversa, quasi sempre, è valido. Cioè, ogni qualvolta scopriamo che in natura esiste una qualche quantità che è conservata nei processi fisici (per esempio la carica elettrica), allora sappiamo che deve esistere una corrispondente simmetria continua. Il teorema di Noether promuove lo studio delle simmetrie dall'ambito estetico-matematico a quello fisico. In fisica ci sono tre grandi leggi di conservazione. Queste ci assicurano che durante un qualunque processo, per quanto complesso, che coinvolga un sistema fisico "lasciato in pace", cioè a cui non sono applicate forze esterne, ci sono tre quantità che non variano: l'energia, la quantità di moto e il momento angolare. Secondo quanto ci dice Emmy Noether, in corrispondenza di queste tre leggi di conservazione devono esistere tre simmetrie continue della natura. In effetti si scopre che queste leggi sono le tre grandi simmetrie dello spaziotempo, ovvero l'invarianza

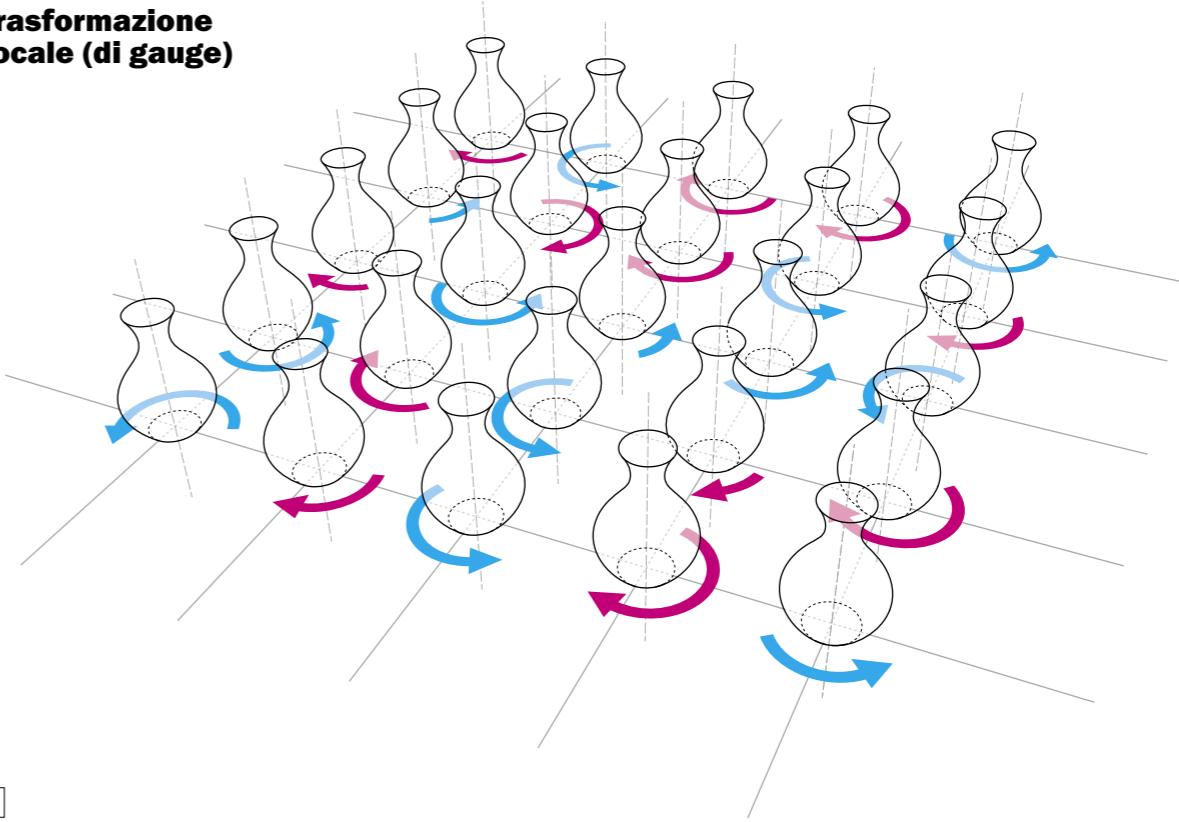
per traslazioni nel tempo, per traslazioni nello spazio e l'invarianza per rotazione. Per capire, o intuire almeno, come mai esista questo legame così profondo e, per certi versi, misterioso, vale la pena fare un piccolo controesempio che prendiamo dal libro *Symmetry and the beautiful universe* di L. Ledermann e C. Hill. Immaginiamo, per assurdo, che la legge di gravità non fosse sempre la stessa in ogni momento, cioè – in termini più tecnici – che violasse l'invarianza per traslazioni nel tempo. Possiamo pensare, ad esempio, che ogni martedì mattina la forza di gravità diminuisse per qualche ora, per poi tornare al suo valore normale. A questo punto, sarebbe il caso di correre a Wall Street e fare incetta delle azioni di una centrale idroelettrica che pompa l'acqua in alto proprio il martedì mattina usando, quindi, meno energia, per poi farla ridiscendere in un altro momento della settimana, e intascare così un guadagno netto di energia gratuita! Probabilmente però nessun fisico comprerebbe queste azioni: infatti nessun esperimento ha mai rivelato la benché minima violazione delle tre leggi di conservazione fondamentali. La nostra fiducia (o fede) in queste leggi è pressoché assoluta, anche perché

trasformazione globale



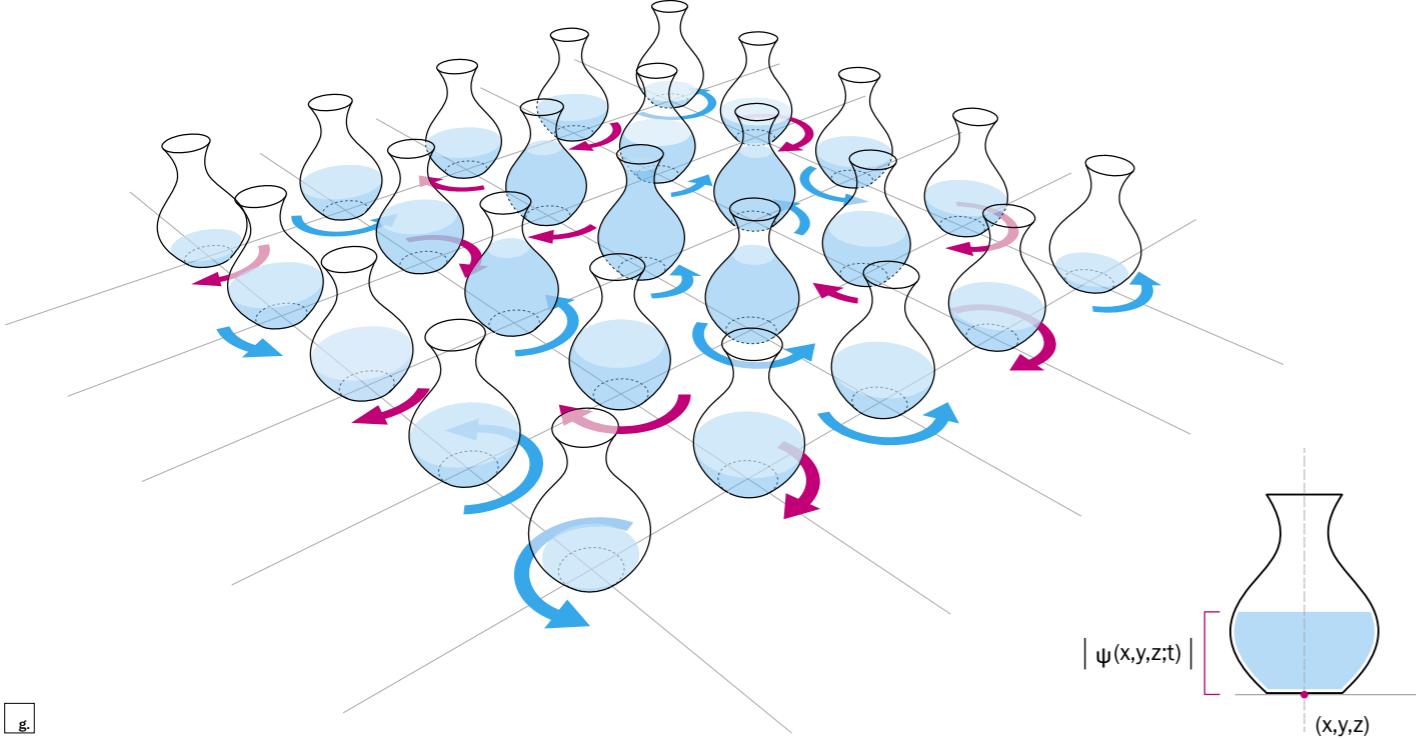
e.

trasformazione locale (di gauge)



f.

## funzione d'onda e simmetrie di gauge



in passato ha portato a successi clamorosi. Fu in base a questa fede che la notte del 4 dicembre 1930 il famoso e "prudente" fisico Wolfgang Pauli compì un atto di drammatica spregiudicatezza (per quel tempo!): ipotizzò l'esistenza di una nuova particella, pur di impedire che in un processo di decadimento di un nucleo atomico la conservazione dell'energia venisse violata. La fede di Pauli venne premiata. Qualche anno dopo quell'oggetto misterioso venne effettivamente trovato: il neutrino! La fiducia di Pauli nella simmetria lo aveva condotto a ipotizzare l'esistenza di un mattone fondamentale dell'universo e la natura lo ricompensava mostrandosi in sintonia con il suo pensiero. Con l'avvento della meccanica quantistica nel secolo scorso, il legame tra simmetria e conoscenza della natura trovò il suo momento più alto e affascinante: si capì, infatti, che la simmetria è così potente da "creare" le *interazioni*, cioè le forze fondamentali presenti nell'universo fin dal Big Bang e, con queste, le particelle che trasmettono queste interazioni, cioè i loro "messaggeri". Da descrizione di ciò che è presente nelle leggi fisiche, la simmetria divenne essa stessa "creatrice" della realtà che ci circonda

nei suoi elementi fondanti, vale a dire le interazioni fondamentali e il modo in cui i costituenti ultimi della materia interagiscono tra di loro. Per illustrare questo passaggio fondamentale, immaginiamo di voler descrivere il comportamento di un elettrone solitario. Nella fisica classica, tutto quello che dobbiamo fare per "descriverlo" è individuare la posizione nello spazio – che abbreviamo con  $x$ , anche se intendiamo la terna spaziale  $(x, y, z)$  – che esso occupa a un certo tempo  $(t)$ . Nell'ambito della fisica quantistica, invece, l'elettrone è descritto da un'onda che, a un tempo fissato, è sparagliata in tutto lo spazio, ed è indicata da una funzione dello spazio e del tempo,  $\Psi(x,t)$ , chiamata *funzione d'onda* dell'elettrone. La funzione d'onda è legata alla probabilità di trovare il nostro elettrone in  $x$  al tempo  $t$ . Per raffigurarci la situazione, potremmo immaginare tanti vasi distribuiti in tutti i punti  $x$  dello spazio e contenenti una quantità d'acqua diversa l'uno dall'altro. L'ampiezza della funzione d'onda  $\Psi(x,t)$  corrisponde all'altezza a cui arriva l'acqua nel vaso che sta in  $x$ . Ora, se facciamo una rotazione di un angolo diverso, a seconda del vaso considerato, e scattiamo una fotografia dopo aver compiuto queste rotazioni, questa ci darà un'immagine dei vari vasi, indistinguibile

g.

Rappresentazione grafica della simmetria di gauge.  
Bisogna immaginare che al centro della figura vi sia un elettrone, la cui probabilità di trovarsi nel punto  $x=(x,y,z)$  dello spazio al tempo  $t$  è legata alla funzione d'onda  $\Psi(x,t)$ .

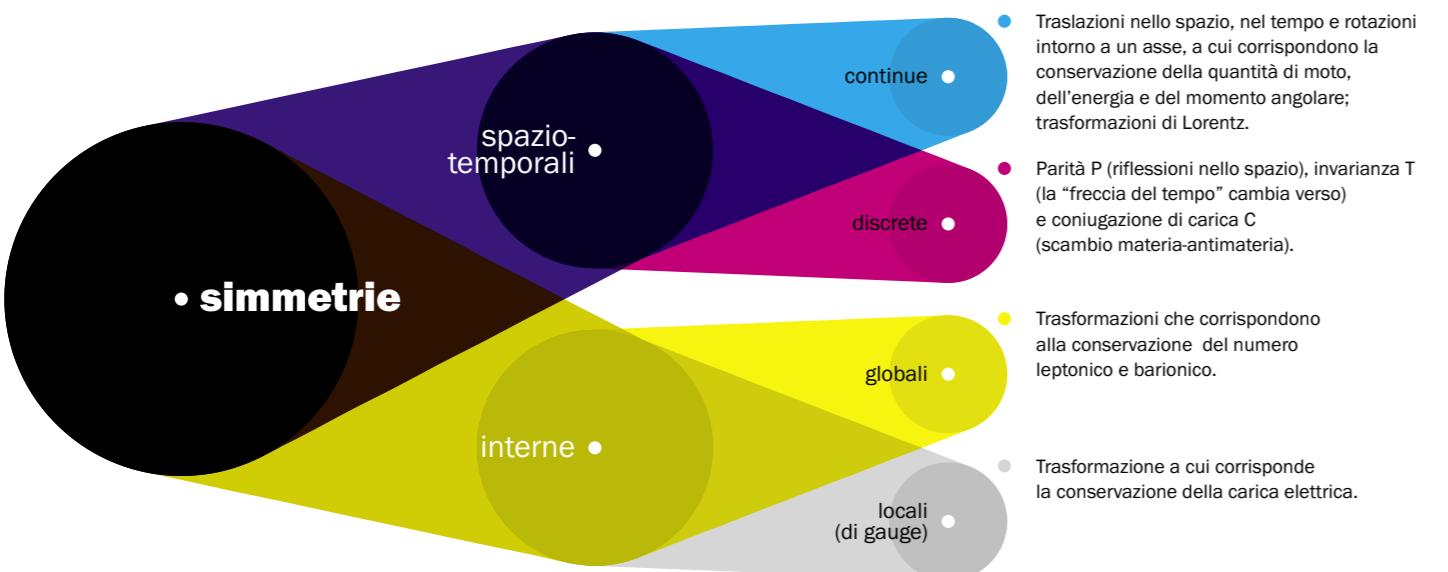
da quella di partenza: l'aspetto di ogni vaso è, infatti indistinguibile da quello che aveva in precedenza, essendo i vasi invarianti per rotazioni, e così entra in gioco l'invarianza di gauge descritta precedentemente. Ecco perché i fisici hanno chiamato queste simmetrie "di gauge" (da "calibro" in inglese): perché in un certo senso esse consentono di "calibrare" la funzione d'onda  $\Psi(x,t)$  da un punto all'altro dello spaziotempo (vd. fig. g). Allo stesso modo, nella descrizione quantistica dell'elettrone, la probabilità di trovare l'elettrone in  $x$  al tempo  $t$  non cambia se "rotiamo"  $\Psi(x,t)$  di un angolo dipendente da  $x$ . Questa "rotazione" è scritta tra virgolette, perché non è una usuale rotazione spaziale come quella dei vasi di fig. f. È una rotazione in uno "spazio interno" astratto che non ha nulla a che fare con lo spaziotempo percepito dai nostri sensi. A questo punto, se, analogamente all'invarianza per rotazioni dei vasi, chiediamo che la fisica sia la stessa quando ruotiamo  $\Psi(x,t)$ , abbiamo una clamorosa sorpresa. Anche se la rotazione non provoca un cambiamento dell'ampiezza, tuttavia essa cambia un'altra caratteristica dell'onda-elettrone: la sua frequenza (o la sua lunghezza d'onda). Ora, quantisticamente, la frequenza (lunghezza d'onda) è legata all'energia

(quantità di moto) dell'elettrone. Ma allora siamo di nuovo nella situazione di Pauli: se insistiamo nella conservazione dell'energia (o della quantità di moto), scopriamo che l'elettrone non può essere solo, deve esistere qualcosa' altro che compensi lo squilibrio nell'energia dell'elettrone quando abbiamo ruotato la sua funzione d'onda. La potenza della simmetria è così grande da riuscire a fornire un identikit pressoché completo del misterioso accompagnatore dell'elettrone: deve essere una particella di massa esattamente nulla, che non ha carica elettrica, ma interagisce con particelle cariche e che ha una proprietà delle particelle, chiamata *spin*, che corrisponde proprio alla polarizzazione dei fasci di luce. Ebbene sì, questa particella "creata" dall'imposizione della simmetria di gauge non è nient'altro che il *fotone*, la particella "messaggera" del campo elettromagnetico: ovvero, è proprio la luce. Per dirla con Lederman, "when She invented gauge symmetry, God said: 'Let there be light'" (quando inventò la simmetria di gauge, Dio – a cui il "politically correct" assegna il genere femminile – disse: "Sia fatta la luce"). È il sogno della scuola pitagorica che si realizza dopo 25 secoli: la potenza del numero che descrive la realtà.



h.  
Wolfgang Pauli a Princeton (USA) il giorno del suo quarantacinquesimo compleanno, il 25 aprile 1945. Quindici anni prima, pur di impedire che in un processo di decadimento di un nucleo atomico la conservazione dell'energia venisse violata, Pauli ipotizzò l'esistenza di una nuova particella, il neutrino.

i.  
Carlo Rubbia, nel 1984, subito dopo aver vinto il premio Nobel per la scoperta dei bosoni  $W^\pm$  e  $Z^0$ .



I.  
La richiesta “geometrica” di una certa simmetria che agisce su uno “spazio nuovo” origina, quasi dal nulla, l’interazione elettromagnetica.

Ma allora, viene spontaneo chiedersi, non potremmo ripetere questa alchimia, e cioè cercare di imporre nuove simmetrie in nuovi spazi interni, arrivando a originare tutte le altre interazioni fondamentali esistenti in natura?

In effetti, proseguendo su questa strada e introducendo una nuova simmetria di gauge (suggerita dagli esperimenti) che agisce in un nuovo spazio interno, si vide che era possibile “originare” una nuova interazione fondamentale, quella relativa alle forze responsabili dei decadimenti radioattivi dei nuclei (interazioni deboli) (vd. p. 20, ndr). Si presentava però un problema apparentemente insormontabile: le simmetrie di gauge predicono inequivocabilmente che i messaggeri delle corrispondenti interazioni abbiano massa nulla (come il fotone). D’altra parte, i messaggeri delle interazioni deboli sono delle particelle molto pesanti chiamati bosoni  $W$  ( $W^+$  e  $W^-$ ) e  $Z^0$ , la cui scoperta valse il premio Nobel a Carlo Rubbia nel 1984.

Sembra che siamo finiti nel tipico vicolo cieco: convinti dal successo dell’elettromagnetismo, vogliamo che esista una simmetria di gauge per descrivere la radioattività, ma al tempo stesso non vogliamo che la presenza di questa simmetria ci conduca a particelle  $W$  e  $Z^0$  di massa nulla, che sarebbe in contrasto con le evidenze sperimentali che troviamo nei nostri acceleratori. E allora? Esiste una via d’uscita e si chiama *rottura spontanea di simmetria*. Un esempio per capirci: prendete una matita e ponetela in equilibrio sulla sua punta perpendicolarmente alla superficie del tavolo. Questo sistema possiede una simmetria di rotazione attorno all’asse verticale lungo la matita. Però sappiamo che la situazione è altamente instabile: in pochi attimi una qualunque piccola perturbazione (anche il battito d’ali di una farfalla in Australia!) farà inevitabilmente cadere la matita. Lungo quale direzione? Questo non si può dire, ma è certo che, una volta caduta, vi sarà una direzione “privilegiata” e si sarà perduta l’invarianza per rotazioni attorno all’asse verticale. In questo caso abbiamo un esempio di un sistema fisico che possiede una certa simmetria in linea di principio, ma che, in pratica, nello stato in cui si viene a trovare alla fine e che minimizza l’energia del sistema, non possiede più quella simmetria. Un altro esempio ancora più interessante è quello della calamita. Se supponiamo di guardarla con uno speciale microscopio, vedremo i piccoli “magnetini” che la compongono tutti allineati lungo una stessa direzione, quella che determina l’esistenza di un polo nord e un polo sud della calamita. Se la calamita viene portata a una temperatura abbastanza alta, perde le sue proprietà, cioè non è più magnetizzata e non attira più gli oggetti ferrosi, perché i suoi magnetini sono disposti in modo del tutto casuale. Quindi non c’è più una direzione speciale rispetto alle altre e questo sistema è del tutto invariante per rotazioni spaziali. Se ora si fa scendere nuovamente la temperatura, si arriva a una soglia critica a cui, improvvisamente, tutti i magnetini di

I.  
Schema dei tipi di trasformazione di simmetria.

m.  
Il tunnel di Lhc presso il Cern (Ginevra), dove i protoni vengono portati ad altissima energia. Grazie ai loro scontri, nei prossimi anni, i fisici sperano di trovare il bosone di Higgs ed evidenze della teoria supersimmetrica.



m.

cui è composta la calamita si allineano lungo una stessa direzione. Come per la caduta della matita, anche in questo caso ogni direzione è del tutto equivalente all’altra, ma una volta che una qualunque di queste direzioni è stata scelta dai magnetini, non c’è più l’invarianza per rotazioni che era presente a temperature maggiore di quella critica. Il sistema fisico non è cambiato, ma al di sotto della temperatura critica la disposizione del sistema (lo stato del sistema, come si dice in fisica) non possiede la simmetria di partenza: la simmetria per rotazione spaziale è stata rotta spontaneamente.

Tutte le interazioni deboli possono essere descritte in termini di una simmetria (di gauge) rotta spontaneamente. Che cosa provoca questa rottura? Ecco che entra in scena il *deus ex machina* della situazione, il famoso *bosone di Higgs* di cui si è parlato in Asimmetrie n. 8 (“Il bosone di Higgs”, settembre 2009, ndr). Come la matita dell’esempio precedente, questo si trova in uno stato in cui la simmetria collegata alle interazioni deboli viene rotta spontaneamente. Quello che succede ha dell’incredibile, eppure la fantastica macchina che ha preceduto Lhc al Cern di Ginevra, l’acceleratore di elettroni e antielettroni

(positroni) Lep, ci ha detto a chiare lettere che è proprio vero: alcune delle componenti del bosone di Higgs, nel momento della rottura spontanea di simmetria, vengono “ingoiate” dal  $W$  e dallo  $Z^0$  per fornire loro la massa, mentre rimane un’unica componente fisica, quella che noi comunemente chiamiamo il bosone di Higgs e che contiamo di produrre e identificare in Lhc. Questo è noto come *meccanismo di Higgs*. Tale “sintonia”, tra una delle più audaci speculazioni della mente umana imprigionata sul concetto di simmetria e ciò che esiste realmente in natura, ha qualcosa di affascinante e misterioso: è lo stupore che accomuna gli uomini di scienza (e non solo loro, naturalmente) da quando Galileo parlò del grande libro della natura scritto a caratteri matematici (creati dalla nostra mente), a quando Dirac ammise che: “Il matematico è impegnato in un gioco di cui si scrive da solo le regole, mentre il fisico gioca con le regole fornite dalla natura. Ma con il passare del tempo appare sempre più evidente che le regole che un matematico trova interessanti sono proprio le stesse scelte dalla natura”. A proposito di curiosità matematiche, ci si potrebbe chiedere, “qual è la simmetria più grande possibile che sia compatibile con le

teorie delle interazioni fondamentali di cui abbiamo parlato?". Dando un'occhiata alla fig. 1 viene spontaneo chiedersi, se esista una simmetria che agisca sia nello spaziotempo che negli spazi interni. Ebbene, il matematico ci dirà che questa simmetria "super" esiste, e naturalmente è stata chiamata *supersimmetria*. A prima vista sembra che questo rimanga solo un *divertissement* da matematici, dato che una delle predizioni della supersimmetria è che sotto la sua azione ogni particella nota si trasformi in una nuova particella *superpartner*. Il problema è che non abbiamo mai visto neppure uno di tali superpartner.

Ma ecco che interviene il fisico, che dall'inizio degli anni '80 capisce che la supersimmetria rappresenta il modo più elegante (e forse più convincente) di affrontare alcune questioni cruciali poste dalla teoria della fisica delle particelle, il *modello standard* delle interazioni fondamentali, ed escogita il rimedio alla mancata osservazione dei superpartner: rompere la supersimmetria. Ecco che i superpartner diventano tanto pesanti da non essere più visibili alle macchine acceleratrici del passato, ma (ed è una predizione del fisico) sono abbastanza leggeri da poter essere visti in Lhc, l'acceleratore di particelle attivo dal 2008 a Ginevra, in Svizzera! Vedremo nei prossimi anni, se queste predizioni verranno confermate in Lhc. Tornando all'esempio della calamita che riscaldiamo, abbiamo visto che la simmetria presente in un certo sistema fisico dipende dalla temperatura e quindi dall'energia a cui si trova. E se il sistema fisico fosse l'intero universo e la temperatura a cui si trova segnasse il raffreddamento progressivo dal caldissimo Big Bang iniziale al "freddo" (un paio di gradi Kelvin) del nostro attuale universo? Nel caso

della calamita, quando la temperatura sale al di sopra di un certo valore critico, il sistema acquista una simmetria (quella per rotazione spaziale dei magnetini che lo compongono), che viene invece "rotta" quando la temperatura scende al di sotto di tale soglia critica: il sistema calamita sperimenta due fasi diverse, a seconda della sua temperatura. Così, se noi seguiamo il sistema fisico universo, man mano che si raffredda a partire dal Big Bang, constatiamo che esso passa attraverso fasi diverse in corrispondenza alle quali simmetrie di gauge delle sue interazioni fondamentali sono esatte (a temperature più alte) o spontaneamente rotte (a temperature più basse). Più ci avviciniamo al momento iniziale del Big Bang, più il grado di simmetria dell'universo aumenta. Potremmo speculare che l'universo parta al momento del Big Bang con un'unica grande simmetria di gauge (o addirittura una supersimmetria), che descrive in modo unificato tutte le interazioni fondamentali, e che poi nel suo raffreddamento "parti" di questa grande simmetria iniziale siano rotte spontaneamente dando luogo alla differenziazione tra le varie interazioni (elettromagnetiche, deboli, forti, gravitazionali) che oggi noi vediamo. La simmetria diverrebbe qui la trama ultima più profonda che caratterizza l'universo e la sua intera evoluzione. Einstein spese gli ultimi anni della sua vita alla ricerca di una teoria "finale" che potesse descrivere in modo unificato e simmetrico (unità) le varie interazioni (molteplicità) dell'universo che ci circonda. Forse, la simmetria è uno di quei "pensieri" fondamentali di cui Einstein ci parla nella sua famosa provocazione: "Non sono interessato a capire questo o quel dettaglio, ma a capire quelli che erano i pensieri di Dio quando creò il mondo".

#### Biografie

**Antonio Masiero** è direttore della sezione di Padova dell'Infn e professore dell'Università di Padova. La sua attività verte sulla ricerca di nuova fisica al di là del modello standard con particolare attenzione alle connessioni tra fisica delle particelle e cosmologia.

**Massimo Pietroni** è ricercatore dell'Infn della sezione di Padova. In questi ultimi anni si è occupato principalmente del problema della materia e dell'energia oscura nell'universo e delle sue possibili spiegazioni nell'ambito della fisica delle particelle.

#### Link sul web

[www.emmynoether.com](http://www.emmynoether.com)

[www.galileonet.it/articles/4c32e1485fc52b3adf000cba](http://www.galileonet.it/articles/4c32e1485fc52b3adf000cba)

[http://www.encyclopedia-1.com/t/te/teoria\\_di\\_gauge.html](http://www.encyclopedia-1.com/t/te/teoria_di_gauge.html)

[as] box

## Particelle e geometrie

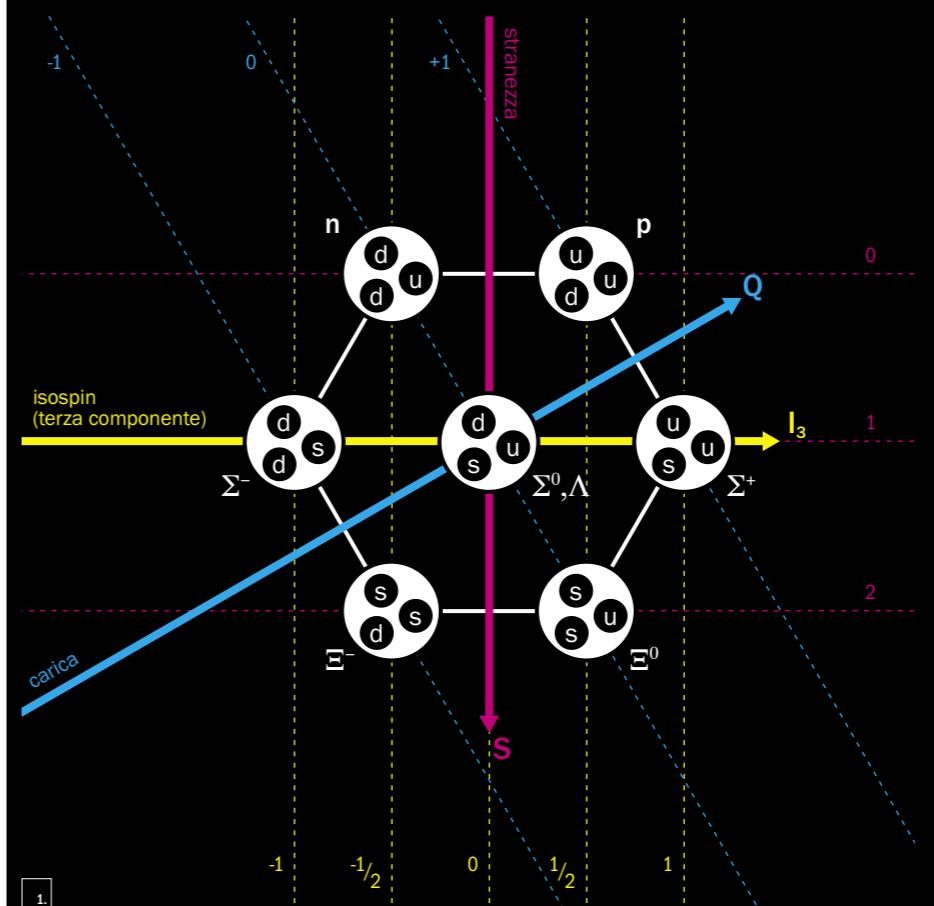
La simmetria rappresenta la chiave di volta per spiegare ciò che è complesso e molteplice, in termini di qualcosa di più semplice ed elementare. Proprio nel momento in cui matematicamente crea un "ordine" nelle cose che osserviamo, essa diviene suggerimento per scoprire nuove, elementari strutture che compongono la realtà complessa. Esemplare in questo senso è quanto è successo negli anni '60 cercando di mettere ordine nel mondo delle particelle che possiedono interazioni nucleari forti, come i protoni e i neutroni, chiamate *adroni*. Raggruppando infatti queste particelle in base alle loro caratteristiche e distribuendole su un piano cartesiano con assi

scelti in modo opportuno, emerge un ordine che è manifestazione di simmetrie profonde della natura. Nell'esempio in fig. 1 la famiglia considerata è quella dei barioni "leggieri" (ottetto barionico) e le grandezze rappresentate sugli assi sono due tra quelle che caratterizzano le singole particelle (*numeri quantici*), e cioè  $I_3$  (terza componente dello spin isotopico) sull'asse x e la stranezza S sull'asse y. In base alle loro "coordinate"  $I_3$  e S, le otto particelle si dispongono con simmetria esagonale. Questa configurazione (assieme alle altre che contenevano tutte le particelle note allora, e ne prevedevano di nuove, poi puntualmente scoperte) ispirò Murray Gell-Mann e George Zweig del Caltech, che nel '63 ipotizzarono che gli adroni fossero composti a partire da tre elementi, i *quark up*, *down* e *strange*, raccolti in triplette nel caso dei barioni (come in figura) e in coppia nel caso dei *mesoni* (vd. p. 28, ndr). I protoni e i neutroni sono costituiti da combinazioni di *quark up* (carica elettrica +2/3) e di *quark down* (carica elettrica -1/3). Quando successivamente i quark vennero sperimentalmente confermati, si realizzò un altro

esempio del fertile connubio tra entità matematiche e realtà fisica. Accanto alla coppia *up* e *down*, se ne aggiunsero negli anni altri due di masse più elevate (*charm* e *strange*, *top* e *beauty*). Sperimentalmente si osservò che tali famiglie di quark sono "mescolate" tra loro, cioè che elementi di una coppia possono trasformarsi in elementi di un'altra. Questo fenomeno chiamato *mescolamento dei quark* fu compreso per la prima volta in termini di proprietà di simmetria dei quark da Nicola Cabibbo, recentemente scomparso, che introdusse l'*angolo di mescolamento* che porta il suo nome. Ma perché proprio tre coppie di quark sono i fondamentali mattoni dell'universo? Non sappiamo rispondere a questa profonda domanda. Ma ancora una volta la simmetria è pronta a darci un possibile suggerimento: quando costruiamo l'oggetto matematico che realizza il mescolamento dei quark delle tre famiglie (vd. p. 20, ndr), scopriamo che vi è la possibilità di avere la rottura della simmetria discreta CP (vd. p. 16, ndr), una rottura da cui può scaturire la presenza della materia fatta di protoni e neutroni dell'intero universo.

1.

L'ottetto barionico che raccoglie i barioni leggeri (il neutrone, il protone e le particelle lambda, csi e sigma) secondo il modello a tre quark. I tre assi colorati sono legati ai tre numeri quantici caratteristici delle diverse particelle (la terza componente dell'isospin  $I_3$  sull'asse x, la stranezza S sull'asse y e la carica Q sull'asse inclinato).



- n neutrone
- p protone
- $\Sigma$  particelle sigma
- $\Lambda$  particelle lambda
- $\Xi$  particelle csi
- U quark up
- d quark down
- S quark strange

[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

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 conservative 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.



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.

# Elogio delle imperfezioni

Piccole asimmetrie per grandi scoperte.

di Marco S. Sozzi



Il XX secolo dai fisici è stato definito "il secolo della simmetria", per l'importanza avuta da questo concetto nello sviluppo scientifico. Ma in realtà spesso non è una simmetria, ma la violazione di una simmetria ad aprire nuove porte per la comprensione della natura. Cogliamo il significato di un principio di simmetria grazie all'esperienza di cose che lo possiedono in contrasto ad altre che *non* lo possiedono: la simmetria per rotazione, di cui gode una sfera, ci è evidente grazie al fatto che viviamo in un mondo pieno di oggetti che sono molto lontani dal possedere questa simmetria. Nel secolo scorso l'investigazione della "microfisica" ha messo in evidenza le proprietà di simmetria delle particelle subatomiche rispetto a tre particolari trasformazioni discrete, in precedenza largamente ignorate: si tratta delle trasformazioni di *parità* (P), di *inversione temporale* (T) e di *coniugazione di carica* (C).

La parità (o inversione spaziale) è la trasformazione che consiste nell'invertire il segno delle coordinate spaziali di un oggetto. È facile convincersi che, usando soltanto rotazioni, non è possibile invertire tutte e tre le coordinate spaziali: altezza, larghezza e lunghezza, di un oggetto. La parità è una trasformazione discreta ottenibile solo usando anche la riflessione speculare. L'inversione temporale consiste nell'invertire il segno del tempo. Prima di pensare a paradossali e fantascientifiche macchine del tempo, notiamo che per un sistema sufficientemente semplice, come una pallina che rotola, questa inversione non implica nulla di particolarmente drammatico: se il tempo scorresse al contrario, la pallina rotolerebbe semplicemente nella direzione opposta. La coniugazione di carica, infine, consiste nell'invertire i segni di tutte le cariche (ad esempio la carica elettrica) di un sistema, scambiando in questo modo materia con *antimateria* (vd. Asimmetrie n. 7 "Antimateria", ottobre 2008, ndr).

Tutte e tre queste trasformazioni sembrano a prima vista (o quasi) corrispondere a simmetrie della natura. Certo non vi è nulla di fisicamente impossibile in un oggetto spazialmente invertito: la scrittura speculare di Leonardo da Vinci richiede uno specchio per essere letta con facilità, dimostrandosi inusuale, ma niente affatto irrealizzabile. In altre parole, la distinzione tra "destra" e "sinistra" appare puramente convenzionale. Analogamente, sappiamo che c'è attrazione tra cariche elettriche di segno opposto e repulsione tra quelle dello stesso segno. Ma carica "positiva" e "negativa" sembrano essere solo concetti relativi, senza alcuna differenza assoluta.

È meno immediato che anche l'inversione del tempo appaia essere una simmetria diffusa in natura. Siamo tutti consapevoli della netta diversità tra passato e futuro, e (purtroppo?) possiamo spostarci nel tempo solo in una delle due direzioni! Ma in realtà tutto questo ha più a che fare con la complessità dei sistemi considerati che con l'assenza di simmetria per inversione del tempo. Guardando al contrario una brevissima sequenza filmata di una partita di biliardo non noteremmo probabilmente nulla di implausibile. Solo con un filmato sufficientemente lungo rimarremmo stupefi nel vedere la pallina che da ferma si mette in moto, accelerando spontaneamente, fino a fermarsi contro la stecca del giocatore. Allo stesso modo troviamo plausibile un barile di vino che si rovescia sul pavimento macchiandolo, ma non una macchia che improvvisamente scompare mentre il vino salta dentro il barile. Il motivo è dovuto solo al fatto che un barile di vino è un sistema estremamente complesso, costituito da un numero enorme di particelle elementari, ed è estremamente improbabile (diremmo "in pratica" impossibile) che *ciascuna* di esse inizi a muoversi proprio nello stesso istante

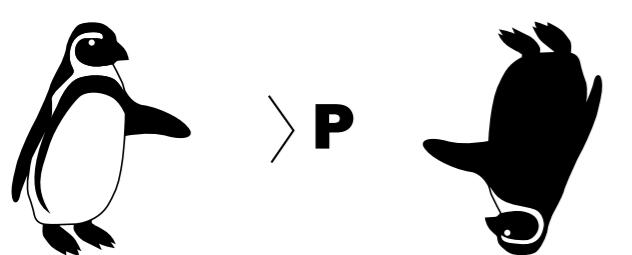
nella direzione che la farebbe ritornare dal pavimento al barile. Per un sistema elementare, viceversa, l'inversione del tempo comporterebbe soltanto l'inversione del suo moto.

A lungo si ritenne che la natura fosse intrinsecamente simmetrica rispetto alle trasformazioni P, T e C. L'esperienza mostrò che le cose stanno altrimenti. Nel 1956, in un tentativo "estremo" di spiegare alcune proprietà dei mesoni K (vd. p. 31, ndr), che resistevano a ogni tentativo di interpretazione, alcuni fisici proposero arditamente la verifica sperimentale della simmetria P delle interazioni nucleari deboli, responsabili del fenomeno della radioattività. Pochi avrebbero scommesso che questa fosse la reale soluzione dell'enigma, ma in poche settimane alla fine del 1956 diversi esperimenti furono realizzati in proposito negli Stati Uniti, primo tra tutti quello

guidato da Chien-Shiung Wu al National Bureau of Standards di Washington.

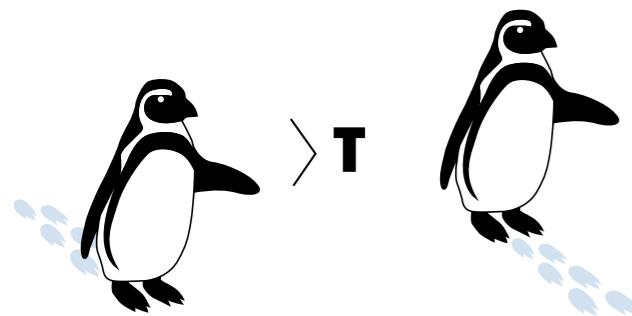
La notizia che la natura effettivamente distingue in modo assoluto tra destra e sinistra (violazione di P) fu accolta come uno shock, e fruttò il premio Nobel ai fisici Tsung-Dao Lee e Chen Ning Yang nel 1957, autori della proposta teorica. Il turbamento fu mitigato dall'osservazione che, invocando anche la simmetria C, la trasformazione combinata CP sembrava rimanere una simmetria inviolata. L'apparente distinzione tra destra e sinistra non sarebbe stata dunque altro che il riflesso di un'asimmetria tra materia e antimateria (distinte dai segni delle cariche): ciò che è "destra" per la materia sarebbe "sinistra" per l'antimateria e viceversa. Una convenzionalità appena più involuta. La scoperta sperimentale, nel 1964 a

a.  
Rappresentazione delle tre trasformazioni: di parità (P) che inverte le coordinate spaziali, di tempo (T) che inverte la freccia del tempo, e di carica (C) che scambia materia con antimateria.



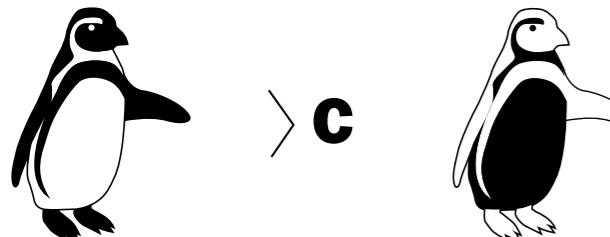
#### Trasformazione P

Le tre direzioni spaziali sono tutte invertite contemporaneamente.



#### Trasformazione T

La direzione del tempo (e quindi del moto) è invertita.



#### Trasformazione C

Tutte le particelle sono trasformate in antiparticelle e viceversa.

Brookhaven, che nei decadimenti dei mesoni K (sempre loro!) anche la simmetria CP è in realtà leggermente violata, fu uno shock ancora maggiore, e non facilmente superabile. Molti esperimenti verificarono il fenomeno, che ancora nel 1980, quando gli scopritori James Watson Cronin e Val Logsdon Fitch ricevettero il premio Nobel, era stato rivelato solo in queste peculiari particelle. Nessuna giustificazione teorica sembrava plausibile.

Una di queste, proposta nel 1973 da Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa, generalizzando il lavoro di Nicola Cabibbo, richiedeva l'esistenza di ben sei quark, mentre ne erano noti solo tre. Oggi questa descrizione è confermata dai fatti e ragione del premio Nobel 2008 conferito ai due fisici giapponesi. Molti nuovi e ingegnosi esperimenti in tutti i laboratori del mondo hanno nel frattempo messo in luce nuove manifestazioni della violazione di CP, molto evidenti nei mesoni B ("cugini" più pesanti dei K) come mostrato da esperimenti effettuati negli Stati Uniti e in Giappone (vd. p. 35, ndr). Ma l'origine profonda di questa asimmetria della natura rimane tuttora un mistero, ancora più cocente in quanto si pensa sia all'origine del fatto che l'universo, nato con uguali quantità di materia e antimateria, si sia evoluto in modo da non lasciare oggi alcuna traccia di antimateria. E la simmetria

T? Un fondamentale teorema, che sta alla base di tutte le teorie note, garantisce che la simmetria combinata CPT sia sempre valida. E naturalmente i fisici sperimentali sono al lavoro per verificare anche questo fatto (vd. p. 33, ndr). Lo studio della violazione di CP, una simmetria quasi perfetta in natura, continua a essere oggetto di esperimenti in tutto il mondo. C'è un messaggio che la natura ci offre con questo fenomeno e l'impresa di decifrarlo è una sfida emozionante per il futuro.

#### Biografia

**Marco Sozzi** è professore all'Università di Pisa. Ha svolto attività di ricerca al Cern e al Fermilab. Dal 1990 si occupa di esperimenti sulla violazione di CP al Cern. È autore di un testo specialistico sulle simmetrie discrete in fisica.

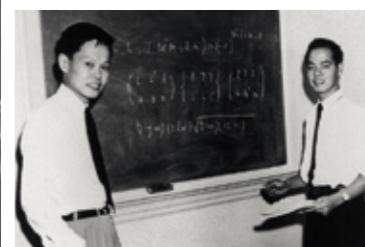
#### Link sul web

- [www.lbl.gov/avc/wallchart/chapters/05/0.html](http://www.lbl.gov/avc/wallchart/chapters/05/0.html)
- <http://physicsworld.com/cws/article/news/3021>
- [www.physics.uc.edu/~kayk/cpviol/CP.html](http://www.physics.uc.edu/~kayk/cpviol/CP.html)
- [http://nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1980/fitch-lecture.pdf](http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1980/fitch-lecture.pdf)

b.  
Chien-Shiung Wu, fisica giapponese, una delle maggiori interpreti nella sperimentazione della simmetria P.

c.  
Una conversazione tra Nicola Cabibbo e Makoto Kobayashi, premio Nobel per la fisica nel 2008, durante il IV Workshop CKM nel 2006 all'Università di Nagoya in Giappone.

d.  
Tsung-Dao Lee e Chen Ning Yang all'Institute for Advanced Study di Princeton, negli Stati Uniti. I due fisici ricevettero il premio Nobel nel 1957 per l'articolo che suggeriva la possibilità che la simmetria di parità fosse violata nelle interazioni deboli.



b. c.  
d.

# Quark e sapori

Ricette per l'universo.

di Paolo Gambino



Nella simmetria risiede in buona parte la nostra capacità di descrivere la struttura fondamentale di ciò che conosciamo: su di essa poggia la teoria delle particelle elementari e delle interazioni fondamentali, il modello standard, e nelle simmetrie si realizza quella sintesi meravigliosa di leggi che la realtà fisica sembra manifestare. Ma se tutte le simmetrie fossero rispettate rigidamente – se la preziosa simmetria di gauge, in particolare, non fosse “rotta” – il mondo sarebbe tremendamente noioso e noi non saremmo qui a osservarlo. Il mondo che conosciamo, la sua varietà e la sua bellezza, il suo inafferrabile mistero, emergono proprio dal dialogo incessante tra simmetria e sua negazione.

Uno dei misteri più profondi dell'universo subnucleare riguarda la classificazione delle particelle elementari, quei mattoni fondamentali della materia, i quark e i leptoni, che per le loro caratteristiche possono essere suddivisi in tre famiglie, o *generazioni* (vd fig. b, ndr). E l'esistenza stessa di tre generazioni di quark e leptoni è ancora oggi un aspetto misterioso e affascinante della fisica delle particelle

elementari. Leptoni e quark si differenziano tra loro innanzitutto per la loro carica elettrica, avendo i primi – elettroni, muoni, tau e neutrini – carica elettrica di valore intero +1, -1 o 0 (i neutrini), mentre i secondi, i quark, hanno tutta carica elettrica frazionaria, +2/3 o -1/3. Ciò che differenzia però quark e leptoni di famiglie diverse è la massa di queste particelle, che aumenta considerevolmente passando dalla prima alla terza generazione. L'etichetta che si usa per identificare i quark di tipo diverso è in inglese il *flavor* (*sapore*, in italiano). Così, quark e leptoni esistono in tre generazioni di sapore (in tre gusti, come fossero caramelle), che sarebbero identiche repliche se non fosse appunto per la massa, diversa per ogni sapore.

Le masse di queste particelle elementari sono molto diverse tra loro. Se la massa del neutrino è meno di un milionesimo di quella dell'elettrone, il quark top – un peso massimo – ha massa paragonabile a quella di un atomo di tungsteno e cento miliardi di volte maggiore di quella dei neutrini. Com'è possibile? Da dove hanno origine queste differenze gigantesche? La teoria

a.

L'esperimento Babar presso lo Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) in California. L'obiettivo principale di Babar è stato lo studio della violazione della simmetria CP, osservando il diverso comportamento dei mesoni B e delle loro antiparticelle, i mesoni  $\bar{B}$  ( $B\bar{b}$ ), prodotti nelle collisioni di un fascio di elettroni e un fascio di positroni (le antiparticelle dell'elettrone) accelerati rispettivamente all'energia di 9,0 GeV e 3,1 GeV nell'acceleratore PEP-II di Slac. Le misure effettuate a Babar e Belle hanno permesso di confermare la validità del meccanismo CKM (vd. p. 22, ndr).

che abbiamo non dà risposte. Le speculazioni naturalmente abbondano specialmente riguardo ai neutrini, la cui massa, piccolissima, si riteneva essere addirittura nulla fino al decennio scorso. Tuttavia, la ragione per cui le particelle elementari hanno masse così diverse tra loro rimane uno dei misteri più impenetrabili della fisica attuale.

Le forze attraverso cui queste particelle interagiscono sono completamente determinate dalla simmetria di gauge che ha originato l'interazione stessa e la massa non è altro che una conseguenza della rottura spontanea della simmetria. Se la simmetria di gauge fosse esatta, tutte le particelle dovrebbero avere massa nulla, come la particella mediatrice della forza elettromagnetica, il fotone o quanto di luce. A partire dalle tre generazioni, uno strano fenomeno permette di realizzare

scenari inaspettati. Si tratta del *mescolamento tra generazioni*, introdotto per la prima volta nel 1963 da Nicola Cabibbo con due sole generazioni, ed esteso a tre generazioni dai giapponesi Kobayashi e Maskawa, nel 1973. Il mescolamento delle generazioni è strettamente legato all'origine delle masse: in assenza di masse le tre generazioni sono indistinguibili e il mescolamento non è osservabile. Per capire di che cosa si tratti, consideriamo le cosiddette forze deboli, responsabili dei decadimenti radioattivi di alcuni nuclei atomici. Queste forze possono trasformare un quark di carica +2/3 (cioè un quark di tipo up, charm o top) in un quark di carica -1/3 (di tipo down, strange o beauty), e viceversa. La differenza di carica che si genera in questa trasformazione è trasferita ad altre particelle (leptoni o quark) dal bosone W mediatore dell'interazione debole,

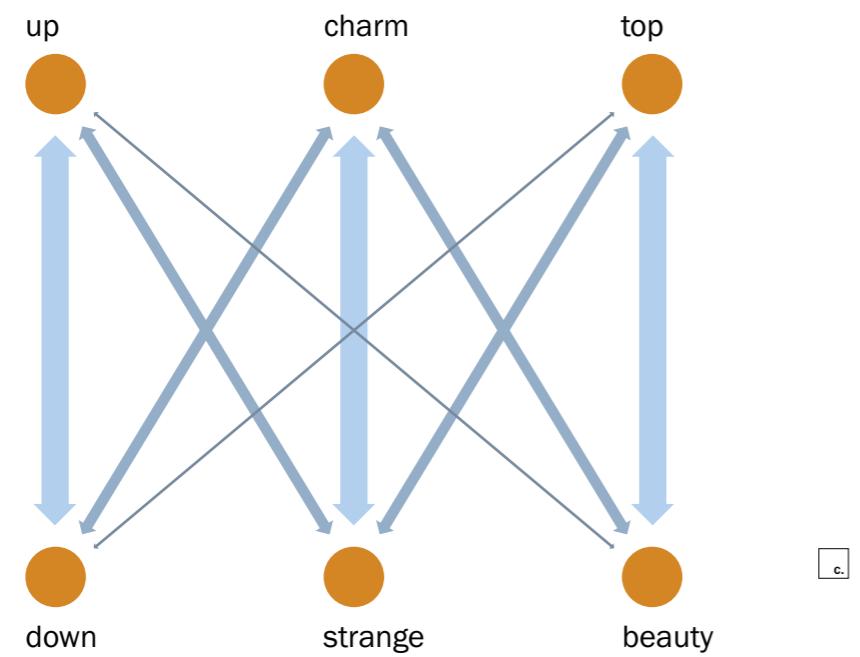
b.

Le particelle elementari, quark e leptoni, sono suddivise in base alla loro massa in tre famiglie o generazioni, in ordine di massa crescente (qui espressa in MeV/c<sup>2</sup>). Nel caso dei leptoni, i neutrini sono elettricamente neutri e hanno massa molto piccola, dell'ordine di una frazione di eV/c<sup>2</sup>. Un'analogia tabella contiene le antiparticelle, che si indicano con una linea sopra al loro simbolo (p.es. l'antiquark up si indica  $\bar{u}$ ).

Leptoni	Quark		
	1 <sup>a</sup> generazione	2 <sup>a</sup> generazione	3 <sup>a</sup> generazione
Leptoni	u up	c charm	t top
	d down	s strange	b beauty
	$\nu_e$ neutrino elettronico	$\nu_\mu$ neutrino muonico	$\nu_\tau$ neutrino del tau
	e elettrone	$\mu$ muone	$\tau$ tau
	massa ~0	massa ~0	massa ~0
	carica elettrica 2/3	carica elettrica -1/3	carica elettrica 0
carica elettrica			-1

b.

# Quark

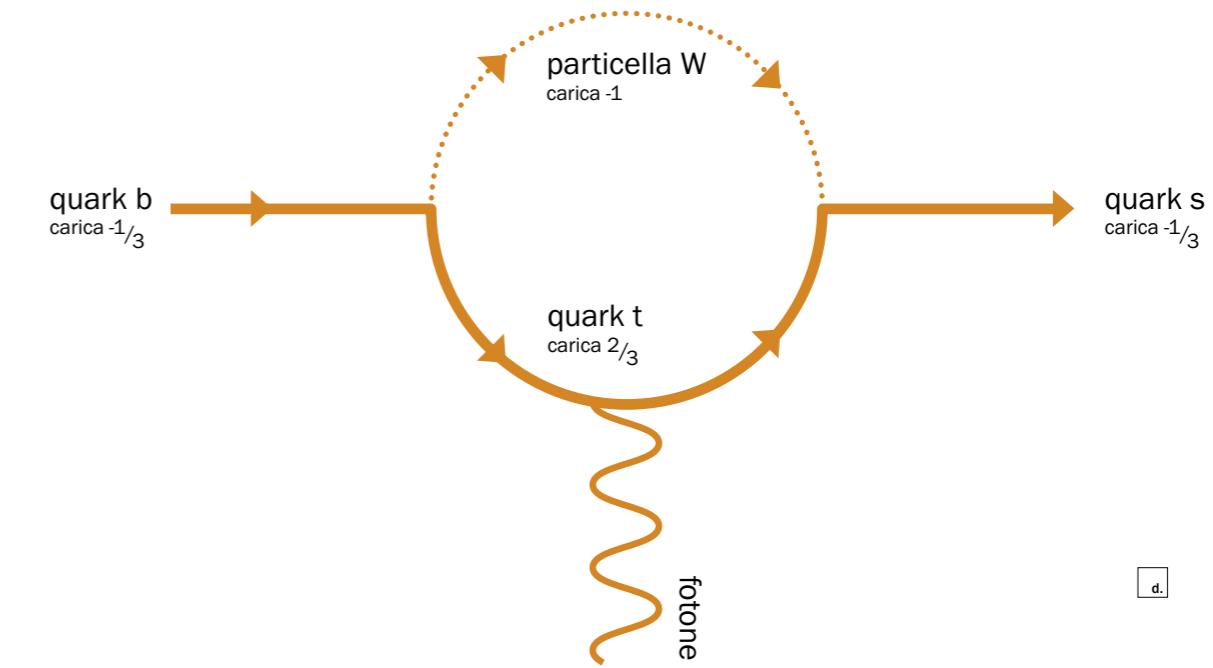


una sorta di fotone pesante con carica elettrica positiva o negativa in base alla particolare interazione in cui è coinvolto (indicato in quei casi  $W^+$  o  $W^-$ ). Nel caso dei decadimenti beta, per esempio, un quark down all'interno di un neutrone è trasformato in un quark up con emissione di un elettrone e di un antineutrino. Il neutrone decade così in un protone e una coppia di leptoni. In linea di principio il quark up potrebbe anche trasformarsi in un quark strange o beauty, ma questi ultimi sono troppo pesanti per essere prodotti in un decadimento beta: si violerebbe la conservazione dell'energia! In processi caratterizzati da energie più grandi, invece, le transizioni indicate in fig. c sono tutte possibili, ma non tutte con la stessa probabilità. La forza debole totale che agisce su un quark up è fissata dalla simmetria di gauge, ma come un fiume che si divide in tre canali essa si ripartisce tra le varie generazioni, e non tutte le transizioni hanno la stessa probabilità di realizzarsi. Di fatto, il bosone  $W$  interagisce quindi con una combinazione di sapori: se associamo un colore primario (rosso, blu, giallo) a ogni sapore di quark, possiamo immaginare che solo una combinazione di colori primari, per esempio arancione o verde, sia legata al bosone  $W$ . La simmetria di gauge impone quindi dei vincoli al modo in cui la forza debole si può ripartire tra le generazioni ed esistono

semplici relazioni matematiche tra le forze che intervengono nelle varie transizioni mediate dal bosone  $W$ . Queste relazioni sono al centro del meccanismo del mescolamento, chiamato CKM dalle iniziali dei suoi scopritori (Cabibbo, Kobayashi e Maskawa). A determinarne il trionfo è stata la sua verifica sperimentale; l'impegno in questo senso è culminato nello studio dei decadimenti dei quark beauty negli esperimenti Babar (negli USA) e Belle (in Giappone) che hanno recentemente concluso la presa dati, con il contributo essenziale di molti ricercatori dell'Infn nel caso di Babar. Ma non si è trattato solamente di un impegno sperimentale: anche i fisici teorici hanno contribuito in maniera determinante. I quark infatti non possono essere osservati da soli, ma solo a gruppi di due o tre all'interno di una sorta di "bozzolo" (l'adrone), creato dalle interazioni forti per trattenerli. Per riuscire a interpretare correttamente nell'ambito del meccanismo CKM i risultati di esperimenti molto precisi, diventa allora indispensabile saper individuare il "bozzolo" dovuto all'interazione forte tra i quark e valutarne le caratteristiche. Si tratta di un problema molto difficile, una sfida formidabile, per la quale ci si avvale anche di simulazioni numeriche su supercomputer (vd. p. 25, ndr). La teoria del meccanismo CKM presenta due aspetti misteriosi. Il primo ha a che fare con la

c.

Tabella delle possibili transizioni tra quark di tipo diverso. Esse sono mediate dal bosone  $W$  e permettono di collegare generazioni diverse. Le transizioni più probabili sono sempre quelle all'interno della stessa generazione (frecce verticali). Le relazioni matematiche tra le forze associate a ognuna di esse costituiscono il meccanismo di Cabibbo, Kobayashi e Maskawa. Nella figura, le linee con uno spessore maggiore rappresentano le transizioni più probabili.

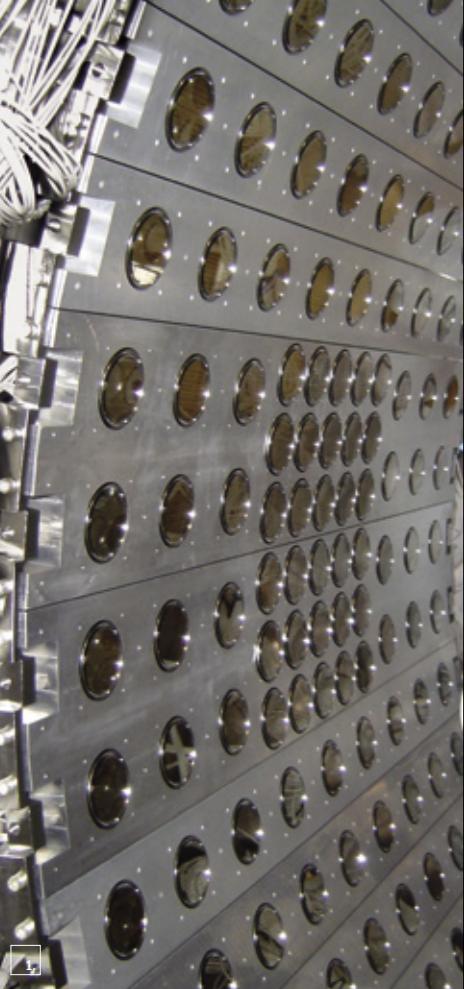


simmetria CP (vd. p. 16, ndr), la cui violazione mostra che il nostro mondo differisce da quello a esso speculare fatto di antiparticelle. L'aspetto sorprendente è che la violazione della simmetria CP è una conseguenza del mescolamento dei quark: esistono pertanto relazioni precise tra le asimmetrie di CP e il mescolamento dei sapori. Questo sorprende perché implica una connessione tra proprietà apparentemente molto diverse delle particelle. E d'altra parte non possiamo illuderci di avere compreso la violazione di CP, dal momento che la violazione di CP osservata nel settore dei quark non è sufficiente a spiegare l'asimmetria tra materia e antimateria nell'universo. Il secondo aspetto misterioso è che il fenomeno del mescolamento dei quark è fortemente gerarchico: le transizioni favorite sono sempre quelle tra quark della stessa generazione. Questa gerarchia sembra suggerire un ordine nascosto, forse il residuo di una simmetria originaria, che il meccanismo CKM si limita a registrare. Un altro aspetto caratteristico del meccanismo CKM è che il mescolamento dei quark non può avvenire attraverso lo scambio di particelle elettricamente neutre, come il fotone o il bosone  $Z^0$ , il terzo mediatore, privo di carica, delle interazioni deboli. Il mescolamento avviene sempre attraverso lo scambio del bosone carico  $W$ . Il decadimento di un quark in un altro quark

con la stessa carica può allora avvenire solo facendo agire due volte il  $W$  sui quark (vd. fig. d, ndr), il che diminuisce drasticamente l'intensità della forza debole e rende il decadimento molto meno frequente. I rari fenomeni di questo tipo, chiamati FCNC (*Flavor Changing Neutral Currents*), sono importantissimi e permettono verifiche di precisione del modello standard. Quanto detto finora riguarda i quark. Per i leptoni vale qualcosa di analogo, ma in questo caso i misteri si infittiscono. Intanto, non conosciamo ancora l'esatta natura degli sfuggenti neutrini. Nel settore dei leptoni non sono mai state osservate sperimentalmente transizioni fra leptoni carichi di sapore diverso: si tratta delle FCNC del settore leptonicco che nel modello standard sono praticamente impossibili. Nuovi risultati in questo senso sono attesi da Meg (*Muone in Elettrone e Gamma*), un esperimento coordinato dall'Infn e condotto in Svizzera, al Paul Scherrer Institut di Zurigo. Abbiamo oggi alcune indicazioni che il grandioso edificio del modello standard nasconde probabilmente qualcosa di ancora più mirabile, una nuova fisica che agisce a distanze ancora più piccole di quelle che abbiamo esplorato finora, e che forse potrà spiegare alcuni dei misteri sopra accennati. Ma è difficilissimo osservare gli effetti di quello che succede a

d.

Il mescolamento dei quark avviene sempre attraverso lo scambio del bosone carico  $W$ . Nella figura è rappresentato il diagramma di Feynman del decadimento di un quark strange in un quark beauty e un fotone. I decadimenti di un quark in un altro quark di carica uguale, come il caso rappresentato, sono possibili solo facendo agire due volte il  $W$  sui quark. I fenomeni di questo tipo sono chiamati FCNC (*Flavor Changing Neutral Currents*) e sono molto rari.



[as]box

## Meg e il sapore dei leptoni

L'esperimento Meg (Muone in Elettrone e Gamma) ha come principale obiettivo la ricerca della violazione del *sapore leptonico* nel rarissimo decadimento del muone in elettrone e fotone (raggio gamma). Meg sfrutta un fascio di circa 100 milioni di muoni per secondo, ottenuto facendo incidere su un bersaglio di grafite il fascio di protoni dell'acceleratore del Paul Scherrer Institut a Zurigo, in Svizzera. I muoni hanno vita breve, di circa due milionesimi di secondo, e decadono nella maggior parte dei casi in un elettrone e due neutrini. Per rivelare gli eventuali rarissimi decadimenti in elettrone e fotone, Meg è dotato di rivelatori

- Il calorimetro elettromagnetico a xenon liquido dell'esperimento Meg, equipaggiato con 846 fotomoltiplicatori.

in grado di misurare contemporaneamente la direzione, l'energia e il tempo di arrivo di queste particelle. Il calorimetro elettromagnetico a xenon liquido, in particolare, equipaggiato con 846 fotomoltiplicatori, permette di rivelare la luce di scintillazione prodotta dai fotoni quando attraversano il mezzo sensibile. Compatibili con lo stesso decadimento, un elettrone e un fotone rivelati in coincidenza temporale sarebbero la prima prova sperimentale di un processo che viola il sapore leptonico. La loro rivelazione dimostrerebbe in modo inconfondibile la necessità di superare il modello standard.

distanze più piccole di quelle accessibili con le collisioni prodotte nei grandi acceleratori di particelle come Lhc, al Cern di Ginevra: i segnali sono inevitabilmente molto deboli, e per poterli rivelare è necessario limitare la raccolta di eventi "non interessanti", ovvero abbassare *il rumore di fondo*, per usare il dialetto dei fisici. I decadimenti rari mediati da FCNC sono importanti proprio perché permettono di abbassare il rumore di fondo dovuto alle forze del modello standard, e possono quindi diventare lo spiraglio da cui osservare la nuova fisica. Nuove particelle finora sconosciute potrebbero infatti affiancarsi al bosone W in processi come quello di fig. d e far sentire la loro debole voce, rendendo un poco più frequente un decadimento molto raro. Forse si tratterà di particelle supersimmetriche (vd. p. 4, ndr), che come suggerisce il nome sono i fossili di una nuova e profondissima simmetria. Forse, potendo studiare le relazioni di CKM in maggiore dettaglio, scopriremo che non sono poi così ben soddisfatte in natura, e che la nuova fisica le modifica in modo sistematico. È quindi evidente che gli studi di fisica del sapore sono complementari alla ricerca di nuove particelle al grande acceleratore Lhc e permetteranno di comprendere meglio le scoperte che tutti ci auguriamo. E, chissà, di azzardare forse qualche risposta ai misteri del sapore.

### Biografia

**Paolo Gambino** è professore di fisica teorica all'Università di Torino dal 2006, dopo aver lavorato in Germania, al Cern e all'Infn. Si occupa di ricerche sulla fisica del sapore.

### Link sul web

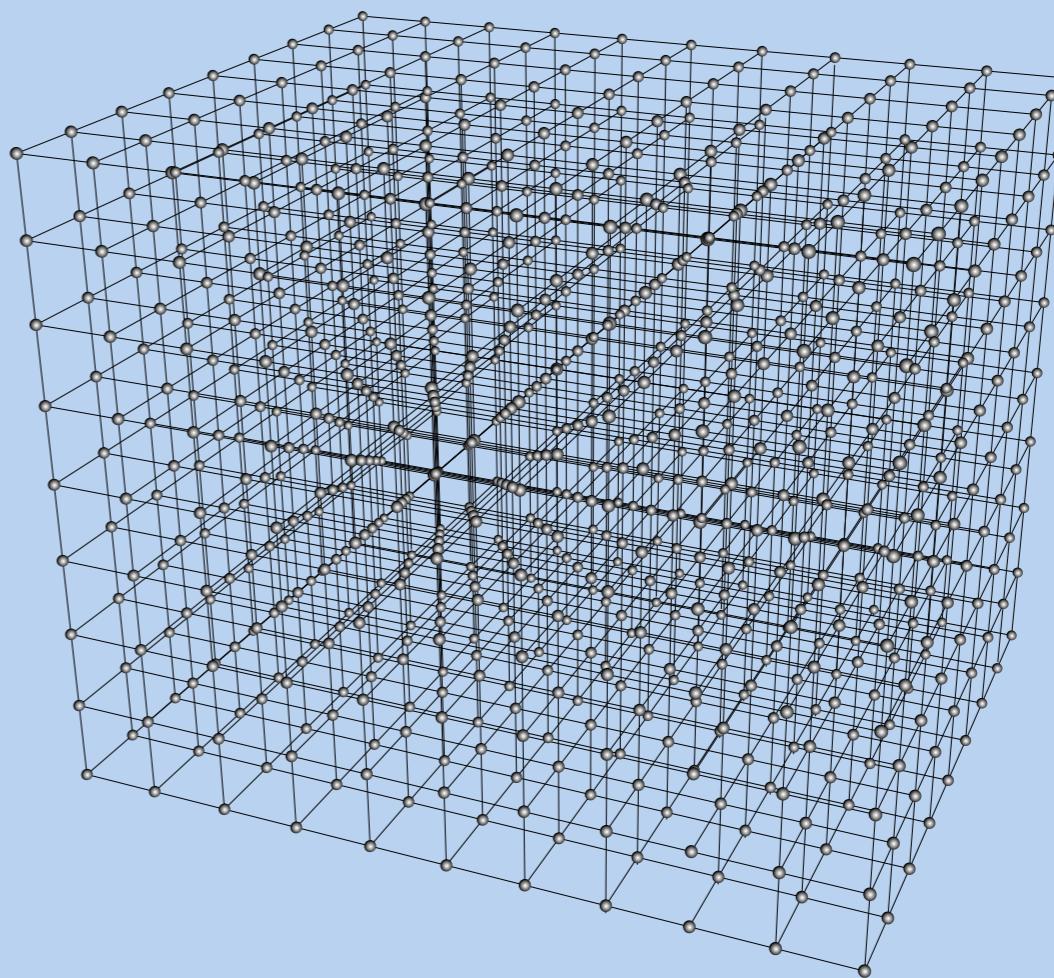
<http://www-public.slac.stanford.edu/babar>  
<http://meg.pi.infn.it>

# Calcolando per punti

Un supercomputer  
studia quark e gluoni.

di Roberto Petronzio

- a.  
Lo spaziotempo descritto come un insieme non "continuo" (discreto) di punti ovvero ridotto a un reticolò sottilissimo.



Toccando una superficie levigata, non potremmo mai immaginare come questa, in realtà, sia discontinua a livello atomico: i nuclei dei vari atomi, di cui è fatta la superficie, sono infatti regolarmente disposti, ma in punti dello spazio lontanissimi tra loro rispetto alle dimensioni nucleari. Molte omogeneità delle cose che vediamo sono dovute alla scarsa capacità di risoluzione dei nostri sensi.

C'è una quantità che comunque pensiamo omogenea e continua: lo spaziotempo intorno a noi, ovvero quel contenitore anonimo, nel quale oscillano le onde di radiazione e di materia di cui si animano i costituenti più elementari del mondo che ci circonda.

Quando scriviamo le equazioni che governano le interazioni fondamentali, pensiamo sempre a uno spaziotempo che si può suddividere all'infinito, un continuo ininterrotto di punti. Se classicamente questa assunzione non comporta problemi, quando includiamo in queste equazioni gli effetti della meccanica quantistica, che ci dice che a piccolissime distanze le leggi non sono più deterministiche, ma fissano solo le probabilità relative di eventi tutti possibili, la pretesa di scrivere equazioni valide a distanze arbitrariamente piccole crolla. Si scopre l'esistenza di un fenomeno che rischia di rendere inutili le equazioni stesse: cioè che le onde, le quali oscillano con frequenze altissime e quindi cambiano su distanze piccolissime assieme alle loro lunghezze d'onda, rendono le correzioni quantistiche – alle predizioni della teoria classica – "infinite", ovvero non trattabili matematicamente.

In realtà, le teorie che descrivono la natura riescono a fare predizioni affidabili al prezzo di un compromesso: si descrivono solo le relazioni tra fenomeni fisici che avvengono a due diverse capacità di risoluzione. Sembra che, quando si scrive una teoria, non si debba pretendere che descriva il mondo fino all'infinitamente piccolo, ma che ci si debba accontentare che porti da quello che si può misurare con la risoluzione che si ha, a quello che si vede con una risoluzione migliore ma finita. Questo ci permette di porre un limite inferiore alla più piccola lunghezza con la quale può oscillare un'onda e ricavare le relazioni tra fenomeni fisici a energie diverse, che sono indifferenti alla limitazione introdotta. Il modo più semplice di fare questo è di considerare uno spaziotempo non "continuo", bensì costituito da un insieme discreto di punti, un reticolo sottilissimo di cui non arriviamo a percepire le maglie, tanto sono strette (vd. fig. a). Questo fa perdere una simmetria importante come quella di Lorentz, ovvero le rotazioni

nello spazio ordinario e quelle speciali nello spaziotempo di Einstein. Vengono rimpiazzate da simmetrie discrete. Se il reticolo è ordinato in ipercubi (cubi con più di tre dimensioni), solo girando di novanta gradi appare identico, un po' come succede con file di alberi piantati ordinatamente: se ne vede uno solo, se ci si allinea in una certa direzione. Se però la sensibilità dei fenomeni che studiamo è rossa, come il polpastrello della nostra mano che tocca la superficie levigata, la simmetria sembrerà esatta, a dispetto della tessitura microscopica.

Su questo reticolo ordinato viaggiano le onde, che naturalmente non possono oscillare dove non ci sono punti dello spaziotempo, e che quindi hanno proprio una lunghezza minima di oscillazione data dal passo del reticolo. La possibilità di scrivere le equazioni su un reticolo discreto ha un ulteriore vantaggio che ne ha decretato il successo. In un reticolo con un numero finito di punti si possono fare calcoli con l'aiuto di un calcolatore. Su di esso vengono "simulate" possibili configurazioni di onde e ne vengono campionate in numero sufficiente da riprodurre in media quello che accade in una soluzione esatta: su questo campione vengono effettuate le "misure" (si tratta naturalmente di simulazioni di misure), che si possono confrontare con le misure fatte dagli esperimenti. Una teoria, a tutt'oggi irrisolta e per la quale si ricorre a questo tipo di simulazioni numeriche per stime accurate, è quella della *cromodinamica quantistica*, ovvero la teoria che descrive le interazioni dei quark e dei loro "collanti" (i gluoni) all'interno dei protoni e neutroni che costituiscono il nucleo di un atomo. Solo attraverso simulazioni numeriche è possibile verificarne la validità nel regime in cui le interazioni sono più forti e solo attraverso le loro conferme siamo oggi fermamente convinti che la teoria sia quella giusta.

Naturalmente l'accuratezza della risposta dipende dal numero di punti totali che ci si può permettere di simulare, ovvero in definitiva dalla potenza del calcolatore a disposizione. Se per ogni punto del reticolo (e oggi si arriva a reticolli con dieci milioni di punti) vi sono un centinaio di numeri che servono a descrivere le onde dei quark e gluoni, si arriva a un totale di circa un miliardo di numeri per ogni campione.

E poi c'è il problema di risolvere sistemi di equazioni lineari con milioni di variabili: insomma, una mole di calcoli che mette a serio prova la potenza dei calcolatori più veloci. Non a caso il settore della cromodinamica quantistica rappresenta uno dei migliori banchi di prova

per lo sviluppo di calcolatori superveloci che organizzano la propria architettura in funzione delle prestazioni che si hanno nelle simulazioni numeriche delle interazioni forti su reticolo. Questo all'Infn lo avevano capito molto presto e in particolare lo aveva capito Nicola Cabibbo che, con un gruppo di giovani ma già scaltriti teorici, primo fra tutti Giorgio Parisi, si mise negli anni '80 a progettare un calcolatore dedicato alla soluzione numerica delle interazioni forti, iniziando quello che ha continuato fino a oggi con il nome di progetto Ape (*Array Processor Experiment*). Poche idee semplici, quali uno schema di molti processori non potentissimi, che potesse essere organizzato come l'architettura del reticolo da simulare; un protocollo di comunicazioni "a primo vicino", che permetesse di mappare la struttura di base delle equazioni che, nello spaziotempo discretizzato, collegano solo punti contigui; e un insieme di memorie con una velocità di trasferimento dei dati bilanciata con la potenza dei processori, hanno permesso all'Infn, con la generazione Ape100 negli anni '90, di

essere alla vetta delle prestazioni nella competizione mondiale per questo tipo di calcoli. Idee che hanno fatto strada e che sono poi state riprese in calcolatori moderni, quali *Blue Gene* dell'Ibm che ricalca l'architettura Ape, o nella tendenza moderna di abdicare ai processori superpotenti in favore dei processori cosiddetti *multi core* o delle *graphic processing unit*, dove una moltitudine di processori tiene testa alle poderose sfide dei videogiochi moderni. E se anche nella realtà, e non solo nelle simulazioni su calcolatore, lo spaziotempo fosse davvero un insieme discreto di punti, magari non organizzato regolarmente ma casuale? Non lo sappiamo o non ne abbiamo ancora trovato evidenza: è probabilmente una questione di capacità di risoluzione e forse prima o poi lo scopriremo. In fondo la fisica moderna ha progressivamente demolito tutti gli assoluti matematici della fisica dell'Ottocento: velocità infinite, misure arbitrariamente esatte... Forse il prossimo mito a cedere sarà lo spaziotempo continuo. Per ora continuiamo ad accarezzarne la superficie levigata.

#### Biografia

**Roberto Petronzio**, attuale presidente dell'Infn, è professore di fisica teorica presso l'Università di Roma "Tor Vergata". Ha lavorato sulle forze di legame dei quark, sulle interazioni deboli e sui sistemi statistici. Si occupa inoltre delle simulazioni numeriche delle interazioni subnucleari.

#### Link sul web

<http://apegate.roma1.infn.it/APE>

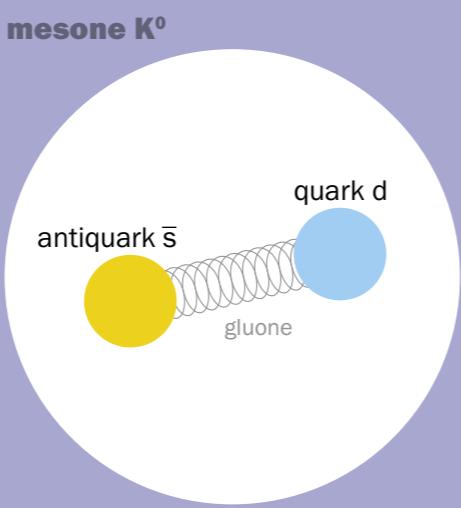


b.  
Nicola Cabibbo, ideatore dei supercalcolatori Ape, osserva una scheda del computer.

# Lo strano caso dei mesoni K

Particelle in crisi d'identità.

di Enrico Iacopini e Francesca Scianitti



a.

I mesoni K esistono nella versione carica  $K^\pm$  e nella versione neutra  $K^0$ , ma a differenza di quanto succede per i loro "cugini", i mesoni  $\pi$  (anche chiamati pioni), il  $K^0$  non coincide con l'anti- $K^0$ .

La ragione sta proprio nella proprietà che chiamiamo stranezza. Di che cosa si tratta?

Nella seconda metà degli anni '40, in esperimenti con i raggi cosmici, si era osservato che alcuni processi di interazione forte, per esempio alcuni urti di mesoni  $\pi$  con nuclei atomici, producevano particelle instabili (tra queste anche i K) che decadevano con vite medie incompatibili con l'interazione forte, troppo lunghe per oltre dieci ordini di grandezza.

Di questi decadimenti poteva essere responsabile solo l'interazione debole: in questo senso le particelle erano *strane*. Un po' come se la costante elastica di una molla avesse dato valori completamente diversi in fase di compressione e in fase di estensione, queste particelle originate dalla forza forte decadevano in particelle più leggere tramite la forza debole.

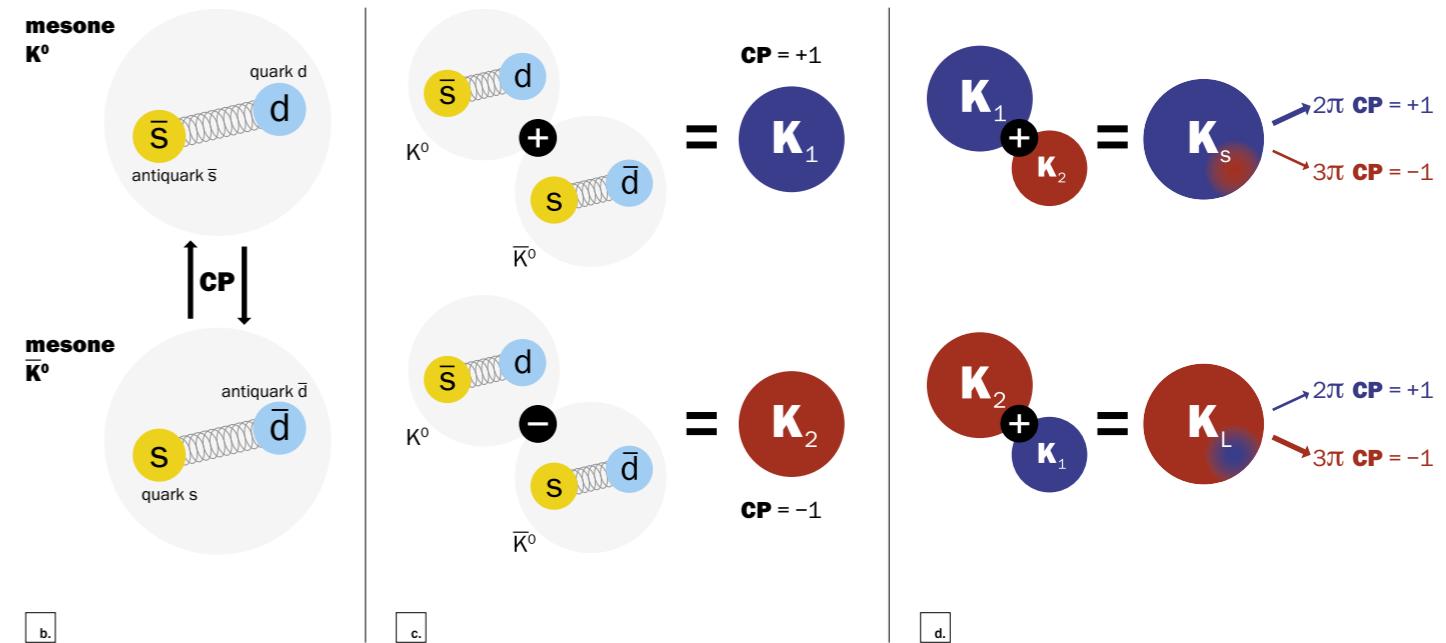
Abraham Pais osservò però che la produzione di queste particelle strane avveniva sempre in coppia, come se esistesse una sorta di "carica" conservata nell'interazione, alla base del processo di produzione. L'idea fu sviluppata da Nakano, Nishijima e Gell-Mann e fu quest'ultimo a battezzare la nuova carica, appunto, "stranezza", indicandola con la lettera S: una quantità che doveva essere conservata nelle interazioni forti (ed elettromagnetiche), ma non in quelle deboli. Poiché protoni, neutroni e mesoni  $\pi$  erano supposti avere stranezza nulla, la loro interazione forte poteva sì generare particelle con stranezza, ma solo a coppie di stranezza opposta. È quanto avviene effettivamente. Una volta prodotta, la particella con stranezza non poteva più decadere attraverso l'interazione forte o elettromagnetica verso stati con stranezza nulla, e quindi il decadimento poteva procedere, molto più lentamente, solo attraverso l'interazione debole. In questo schema, il  $K^0$ , avendo stranezza  $S = +1$ , non poteva coincidere con la propria antiparticella che, per definizione, doveva avere stranezza  $S = -1$  (nella trasformazione particella-antiparticella tutte le cariche cambiano di segno, quindi anche la stranezza).

Ma questa non è l'unica "bizzarria" dei mesoni K. Ce n'è una ancora più insolita, che rende speciali queste particelle, e sebbene più sfuggente e complicata da descrivere, è di fondamentale importanza per la comprensione del mondo fisico.

Consideriamo gli stati  $K^0$  e anti- $K^0$  (vd. fig. b), costituiti rispettivamente da un antiquark strange e un quark down, e un antiquark down e un quark strange. Si passa da uno all'altro applicando la trasformazione CP (per questo si dice anche, che sono CP-coniugati). Costruiamo, seguendo le consuete regole della meccanica quantistica, le loro combinazioni lineari simmetrica (somma) e antisimmetrica (differenza) che chiameremo, rispettivamente,  $K_1$  e  $K_2$  (vd. fig. c). Di queste, la prima è CP pari ( $CP=+1$ ), rimane cioè identica a se stessa se riflessa nello specchio CP (che in questo

a.  
Struttura a quark dei barioni e dei mesoni, in particolare del protone e del mesone K neutro ( $K^0$ ). All'interno di barioni e mesoni, i quark sono sempre legati a coppie tramite i gluoni, particelle mediatici dell'interazione forte.

b. / c. / d.  
Il sistema dei K e la violazione CP.



caso sostituisce particelle ad antiparticelle e ne cambia la parità), la seconda, invece, cambia di segno sotto CP ed è quindi *CP dispari* ( $CP=1$ ). In questo schema, nell'ipotesi in cui CP sia una simmetria esatta anche per le interazioni deboli (come si riteneva allora), il  $K_1$  (che in figg. b, c, d abbiamo scelto di colorare di blu) può decadere solo in due mesoni  $\pi$  (che è un sistema sempre CP pari) e il  $K_2$  (in rosso), a sua volta, quando "sceglie" di decadere in mesoni  $\pi$ , può farlo solo in tre mesoni  $\pi$  (il cui stato può essere CP dispari). Da questa differenza di stato finale segue che, anche se in entrambi i casi la responsabile del decadimento è comunque l'interazione debole, il  $K_1$  deve avere una vita media più breve del  $K_2$ , ossia deve decadere più in fretta. Sperimentalmente era nota l'esistenza di un mesone *K-short* ( $K_s$ ) e un mesone *K-long* ( $K_L$ ), con masse quasi uguali ma vite medie molto diverse; questo sembrava quindi potersi spiegare molto semplicemente identificando il  $K_s$  con il  $K_1$  (CP-pari) e il  $K_L$  con il  $K_2$  (CP-dispari). Nel 1964, però, Christenson, Cronin, Fitch e Turlay mostrarono che il mesone  $K_L$  decadeva, seppur raramente (0,2% dei casi), anche in due mesoni  $\pi$  e quindi non poteva coincidere esattamente con il  $K_2$  se CP era conservata. Come poteva accadere? Era dunque violata anche la simmetria CP?

I fatti sperimentali presto condussero a un'unica possibile conclusione, secondo cui lo stato  $K_L$  non coincideva con lo stato  $K_2$ , ma aveva una piccola "contaminazione quantistica" di  $K_1$ . In modo complementare, il  $K_s$  doveva coincidere

con la sovrapposizione di un  $K_1$  e una piccola contaminazione quantistica di  $K_2$  (vd. fig. d). In questo caso, lo stato  $K_L$  non aveva CP definita e poteva quindi decadere talvolta anche in due mesoni  $\pi$ , senza che ci fosse necessariamente una violazione di CP nella dinamica del decadimento debole: è il meccanismo della *violazione indiretta* di CP.

Ma perché c'era questo mescolamento? Il quadro teorico andava in ogni caso rivisto, perché non era in grado di dare una spiegazione. Nel 1973, l'estensione a sei del modello a quark – up, down, charm, strange (da cui stranezza), top e beauty – consentì al modello standard di fornire una possibile spiegazione della violazione di CP nelle interazioni deboli di corrente carica, attraverso il meccanismo del mescolamento di sapore dei quark (meccanismo CKM, vd. p. 20, ndr). Restava allora da verificare se nel sistema dei  $K^0$ , la violazione di CP era unicamente del tipo indiretto, oppure se c'era anche una violazione diretta, cioè se accadeva, per esempio, che il  $K^0$  e l'anti- $K^0$ , che sono CP-coniugati, avessero diverse probabilità di decadimento verso uno stesso stato finale invariante per trasformazioni CP (come, per esempio, appunto, quello di due mesoni  $\pi$  carichi oppure neutri).

Fu questo, a partire dal 1984, il compito degli esperimenti Na31 e poi Na48 realizzati al Cern, i quali hanno potuto verificare, in accordo con le previsioni del modello standard, l'effettiva esistenza di entrambi i tipi di violazione, aprendo così una nuova era nella fisica del sapore.

e.

James Watson Cronin e Val Logsdon Fitch (al centro), i quali hanno vinto il premio Nobel nel 1980 per aver scoperto la violazione della simmetria CP dei mesoni  $K^0$ .

e.



# Assedio ai K

## Trent'anni di verifiche sperimentalistiche al Cern.

di Enrico Iacopini

Fin dal 1984, utilizzando una linea di fascio proveniente dall'acceleratore SpS (Super Proton Synchrotron), nella North Area (abbreviata Na) del Cern è in corso un programma sperimentale dedicato allo studio della violazione di CP nel sistema dei mesoni K neutri ( $K^0$ ). Dopo le prime indicazioni ottenute con l'esperimento Na31, il miglioramento dell'apparato ottenuto con il suo successore Na48 ha permesso di verificare in modo definitivo l'esistenza della violazione diretta della simmetria CP nei decadimenti dei mesoni  $K^0$  in due mesoni  $\pi$ . Na48 ha inoltre potuto misurare l'entità di questa violazione, che è prevista teoricamente dal modello standard ed è descritta attraverso il meccanismo di mescolamento CKM. Trattandosi tuttavia di una quantità molto piccola, è stato fondamentale disegnare il rivelatore in modo da non introdurre effetti sistematici tali da poter mascherare il risultato: per questo Na48 ha usato simultaneamente mesoni  $K_s$  e  $K_L$ . L'apparato sperimentale prevedeva una regione sottovuoto per il loro decadimento, seguita da uno spettrometro magnetico per la misura dell'impulso delle

particelle cariche originate in ciascun decadimento, un calorimetro elettromagnetico a krypton liquido (LKr), per la rivelazione dell'energia dei fotoni, e un rivelatore di muoni, per ridurre il rumore di fondo in cui queste particelle sono presenti. L'analisi dei dati sperimentali di Na48 ha permesso di concludere in maniera definitiva che la dinamica dell'interazione debole viola effettivamente la simmetria CP, in accordo con lo schema previsto dal mescolamento dei quark. Perché allora si è deciso di continuare, con un nuovo esperimento di nome Na62? La ragione primaria è che il modello standard, nonostante i suoi successi, richiede un completamento, per esempio con la supersimmetria (la ricerca di particelle supersimmetriche è uno dei compiti primari di Lhc). Anche se queste particelle non possono essere prodotte direttamente nel decadimento del mesone K perché, se esistono, sono comunque di massa molto più elevata, la meccanica quantistica prevede che esse possano essere osservate in modo indiretto, poiché il loro scambio "virtuale" può



a.

a.  
Uno dei 12 rivelatori di fotoni disposti lungo la linea di fascio di Na62 necessari per l'abbattimento del rumore di fondo proveniente dal canale  $K^+$  in  $\pi^+ \pi^0$ .



b.

comunque influire anche sui processi di decadimento ordinari.

Sulla base delle attuali conoscenze, il modello standard (che non include la supersimmetria) è in grado di fare una previsione molto precisa sulla frazione di decadimento del mesone  $K^+$  in un mesone  $\pi$  positivo più un neutrino e un antineutrino con una precisione di circa il 10%. Per ottenere una prestazione di questo tipo, le diverse parti dell'esperimento devono assicurare di poter contenere il numero dei processi di fondo associati ai decadimenti più frequenti del mesone  $K$ , a meno di 1 su 100 miliardi! Per questo l'esperimento prevede, per esempio, oltre ai diversi rivelatori, in parte ereditati da Na48, necessari per l'identificazione e la misura delle caratteristiche cinematiche delle particelle del fascio e di quelle originate dai decadimenti, tutta una serie di rivelatori posti lungo i 65 metri della linea di decadimento, per la soppressione del rumore di fondo particolarmente abbondante e insidioso in cui il mesone  $\pi$  di decadimento è accompagnato da fotoni invece che dalla coppia neutrino-antineutrino.

#### Biografia

**Enrico Iacopini** è professore di fisica nucleare e subnucleare presso l'Università di Firenze. È stato responsabile nazionale di Na48 e lo è attualmente di Na62. Dal 2010 è direttore del Dipartimento di Fisica e Astronomia.

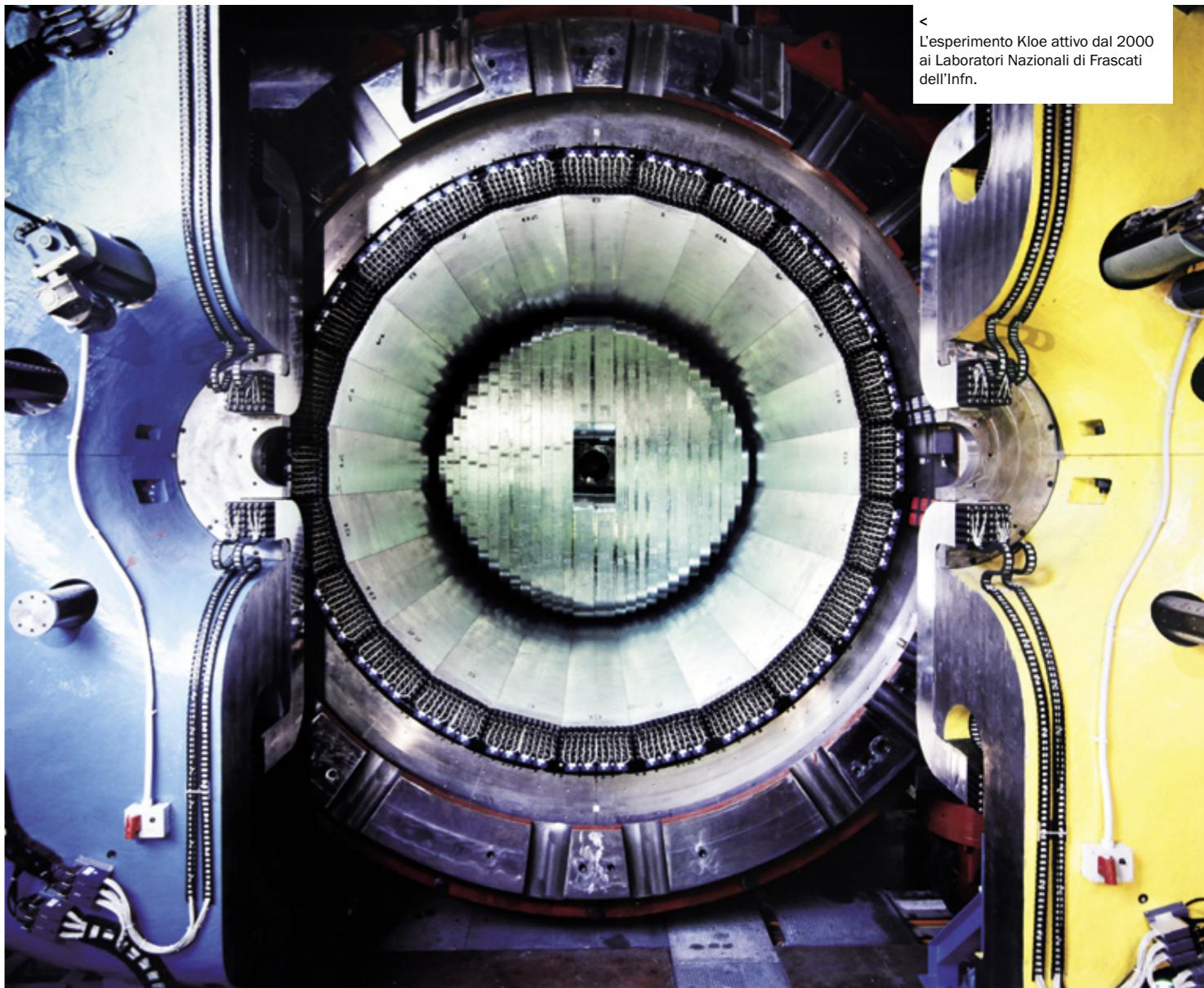
#### Link sul web

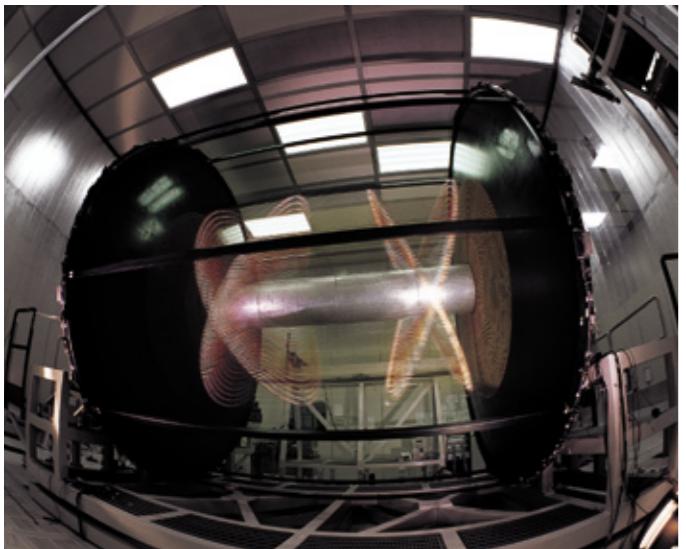
<http://na48.web.cern.ch/NA48/Welcome.html>  
<http://na62.web.cern.ch/NA62>

# I K made in Italy

Dafne e Kloe a Frascati.

di Fabio Bossi





a.  
La camera a deriva di Kloe.  
Con i suoi 52.000 fili, è la più  
grande mai costruita al mondo.

Si chiama *Kloe* l'esperimento in funzione ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn per verificare le leggi di conservazione di diverse simmetrie nelle interazioni fondamentali. Attivo dall'anno 2000, grazie all'osservazione di più di due miliardi di decadimenti di mesoni K neutri ( $K^0$ ) o carichi ( $K^\pm$ ) e di circa cento milioni di decadimenti del mesone di tipo  $\eta$ , tutti prodotti dall'acceleratore *Dafne* a Frascati tra il 2000 e il 2006, *Kloe* ha ottenuto molti risultati con una grande accuratezza.

Prima fra tutti, è stata verificata la conservazione della simmetria di parità P e di coniugazione di carica C, prevista dalla teoria per le interazioni forti ed elettromagnetiche. Questa impone, ad esempio, che il mesone  $\eta$  non possa decadere in una coppia di mesoni  $\pi$  o in tre fotoni. *Kloe* ha dimostrato che in effetti tali decadimenti non avvengono mai, con una precisione di una parte su centomila, ottenendo due tra le più accurate prove sperimentali per la conservazione di queste due simmetrie.

Attraverso raffinate misure di

interferometria quantistica con i mesoni  $K^0$ , *Kloe* ha anche potuto testare la conservazione della simmetria CPT nelle interazioni deboli. La tecnica interferometrica si basa sul fatto che i  $K^0$  osservati da *Kloe* sono sempre prodotti in coppie e che i loro tempi di decadimento sono tra loro correlati. In particolare, se entrambi i mesoni decadono in una coppia di mesoni  $\pi$ , essi non possono decadere contemporaneamente; in altre parole, il modo e il tempo di decadimento di uno dei due mesoni influisce direttamente

sul modo e il tempo di decadimento del suo compagno, indipendentemente da quanto tempo sia trascorso dalla loro produzione e da quanto si siano allontanati l'uno dall'altro. Questa bizzarra proprietà, che in fisica classica non sarebbe permessa, è un effetto combinato della validità della meccanica quantistica e della richiesta di conservazione della simmetria CPT. L'importanza di questa misura è duplice. Da un lato, infatti, la richiesta di conservazione di CPT è un vero e proprio teorema alla base della attuale descrizione quantomeccanica delle interazioni fondamentali tra particelle, e dunque un accurato test sperimentale di conservazione di questa simmetria rappresenta una prova diretta della validità della teoria stessa. D'altro lato, esistono ardite speculazioni teoriche che prevedono una violazione di CPT in presenza di effetti della gravitazione a livello microscopico. Di conseguenza esperimenti di interferometria "alla *Kloe*" sono tra i pochi metodi, se non gli unici, grazie ai quali si possono ricercare questi eccezionali effetti in un ambiente sperimentalmente controllato.

Un ulteriore piccolo effetto quantistico verificato da *Kloe* è quello della conservazione del cosiddetto sapore leptonico (vd. p. 20, ndr). Questa simmetria prevede che nelle interazioni deboli ciascun leptone carico (l'elettrone, il muone e il leptone tau) si debba associare soltanto a un neutrino del suo stesso sapore. Contrariamente a quel che accade nel modello standard, in cui la conservazione di questa simmetria è un assunto fondamentale, alcune

teorie supersimmetriche ne prevedono la violazione. È stato mostrato come il tasso di decadimento dei mesoni K carichi in un elettrone e un neutrino, che nel modello standard è calcolabile con grande precisione, possa variare fino anche dell'1% in presenza di effetti indotti dalla supersimmetria. Ebbene, il risultato sperimentale di *Kloe* è in accordo con il modello standard entro l'1%, confermando la validità a questo livello di precisione.

Dal 2006 l'acceleratore *Dafne* ha migliorato sensibilmente le proprie prestazioni, avendo incrementato il tasso di collisioni (in gergo tecnico, la sua *luminosità*) di un fattore di circa tre. Con la presa dati appena cominciata, *Kloe* aspira dunque a raccogliere una quantità di dati molto più copiosa di quella sinora analizzata, e grazie ai miglioramenti sul rivelatore di prossima installazione, si spera di aumentare l'accuratezza delle misure sinora ottenute di almeno un ordine di grandezza.

#### Biografia

Fabio Bossi ha lavorato al Cern e presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn. Attualmente è ricercatore presso i Lnf ed è portavoce dell'esperimento *Kloe-2*.

#### Link sul web

[www.lnf.infn.it/kloe/forpublic/](http://www.lnf.infn.it/kloe/forpublic/)

# Bellezza asimmetrica

## Violazione CP nell'esperimento Babar.

di Crisostomo Sciacca

Dal 1964 al 2001: dopo 37 anni viene finalmente trovato un secondo sistema nel quale si manifesta la violazione della simmetria CP. Questa volta gli attori non sono i K neutri ( $K^0$ ), bensì i mesoni B neutri ( $B^0$ ), particelle oltre cinque volte più pesanti del protone e composti da un quark down, con carica  $-1/3$ , e da un antiquark beauty, con carica  $+1/3$ . Vale l'opposto per l'anti- $B^0$ .

Questa scoperta ha visto la competizione di due gruppi sperimentali, Babar a Stanford in California, con una rilevante partecipazione dell'Infn, e Belle in Giappone. In ambedue i casi, è stato necessario costruire macchine acceleratrici dedicate, nelle quali elettroni e positroni collidono con energia complessiva di quasi 11 GeV, l'energia ottimale per creare le particelle denominate  $Y(4S)$ , formate da un quark e un antiquark di tipo beauty, che decade quasi istantaneamente generando una coppia di mesoni  $B^0$  e anti- $B^0$  o una coppia di mesoni  $B^+B^-$ , con quasi uguale probabilità. Il modo più chiaro per mettere in evidenza la violazione CP è quello di studiare il decadimento del  $B^0$  con creazione di una particella  $J/\psi$  (coppia di quark e antiquark di tipo charm), assieme a un  $K^0$ , in particolare quello a vita breve, il  $K_s$ . Questo processo è raro, ed è quindi obbligatorio raggiungere elevatissime intensità di collisioni: non a caso queste macchine vengono denominate *B factories*, cioè fabbriche di B.

Ma come si può mettere in evidenza se c'è violazione della simmetria CP, cioè se materia e antimateria si comportano in modo differente? Per rispondere alla domanda dobbiamo sottolineare alcuni aspetti legati al mondo sorprendente della meccanica quantistica. Innanzitutto, la coppia di mesoni  $B^0$  creati dal decadimento della particella  $Y(4S)$  allontanandosi dal punto di creazione possono "cambiare natura": un  $B^0$  può trasformarsi spontaneamente in un anti- $B^0$  (e viceversa). E, fatto ancor più misterioso, se uno dei due decide di trasformarsi, il secondo è costretto a mutarsi in senso opposto, allo stesso istante e a qualunque distanza essi si trovino: la loro esistenza è "intrecciata". Nel gergo dei fisici, questi due sorprendenti fenomeni vengono chiamati rispettivamente *mixing* ed *entanglement*, e sono la chiave per affrontare la violazione CP. Ma i "misteri" non finiscono qui: nella strategia di misura entra in gioco un'altra bizzarra della meccanica quantistica, l'interferenza tra decadimenti diversi che portano allo stesso stato finale. Va notato preliminarmente che sia il  $B^0$  che l'anti- $B^0$  possono decadere nella coppia  $J/\psi$  e  $K_s$ . Esaminiamo ora cosa accade al  $B^0$  della coppia nata dal decadimento della  $Y(4S)$  (discorso analogo vale per l'anti- $B^0$ ): esso può decadere nella coppia  $J/\psi$  e  $K_s$  o direttamente o dopo una sua trasformazione in anti- $B^0$ , cioè dopo un suo mixing. Ebbene, nel mondo dell'esperienza quotidiana diremmo che, se allo stesso risultato finale si può arrivare con due strade diverse, ciascuna caratterizzata da una certa probabilità di avverarsi, la probabilità complessiva si ottiene semplicemente "sommando" le due probabilità individuali. Tutt'altra storia in meccanica quantistica: la probabilità finale può essere minore, uguale o maggiore, nasce un "termine di interferenza" tra i due percorsi possibili, che può essere negativo, nullo o positivo a seconda dei casi! E qui siamo al punto centrale della strategia di misura. La teoria ci dice che se vi è violazione CP questo curioso effetto è diverso a seconda che si studi il  $B^0$  oppure l'anti- $B^0$  e, di conseguenza, il tempo di decadimento ne risente in maniera misurabile. Abbiamo ora gli ingredienti necessari, schematizzati nella fig. 1.

Naturalmente, il gioco è stato tutt'altro che semplice. Infatti, il ritardo tra i due decadimenti,

## Strategia di misura

I passi sperimentali per la prima misura di violazione CP nei mesoni B neutri in Babar:

Dalla collisione di un elettrone a 9,0 GeV contro un positrone a 3,1 GeV nasce una particella denominata Y(4S) che decade quasi istantaneamente.

La "scomparsa" della Y(4S) lascia una coppia B<sup>0</sup> e anti-B<sup>0</sup> entangled (in blu e rosso), che viaggiano approssimativamente lungo la direzione che aveva l'elettrone prima dell'urto, visto che gli elettroni hanno energia assai superiore a quella dei positroni.

Decade uno dei due mesoni (la loro vita media è di circa 1,5 picosecondi, ovvero di millesimi di miliardesimo di secondo), lo chiameremo mesone "etichetta" ( $B_{tag}$ ). L'altro lo chiamiamo mesone segnale ( $B_{CP}$ ).

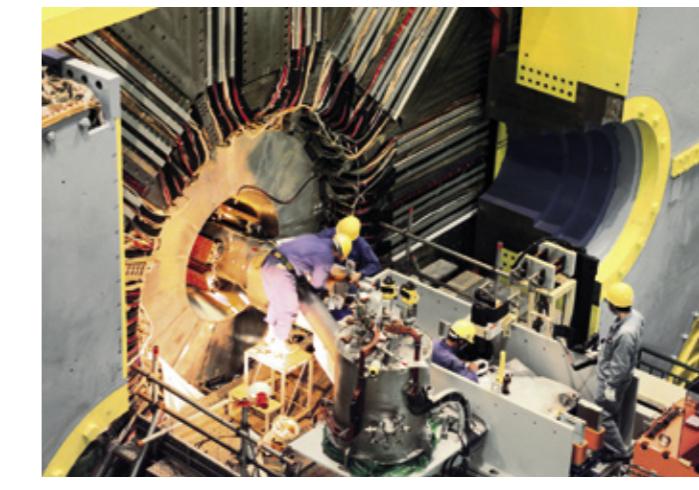
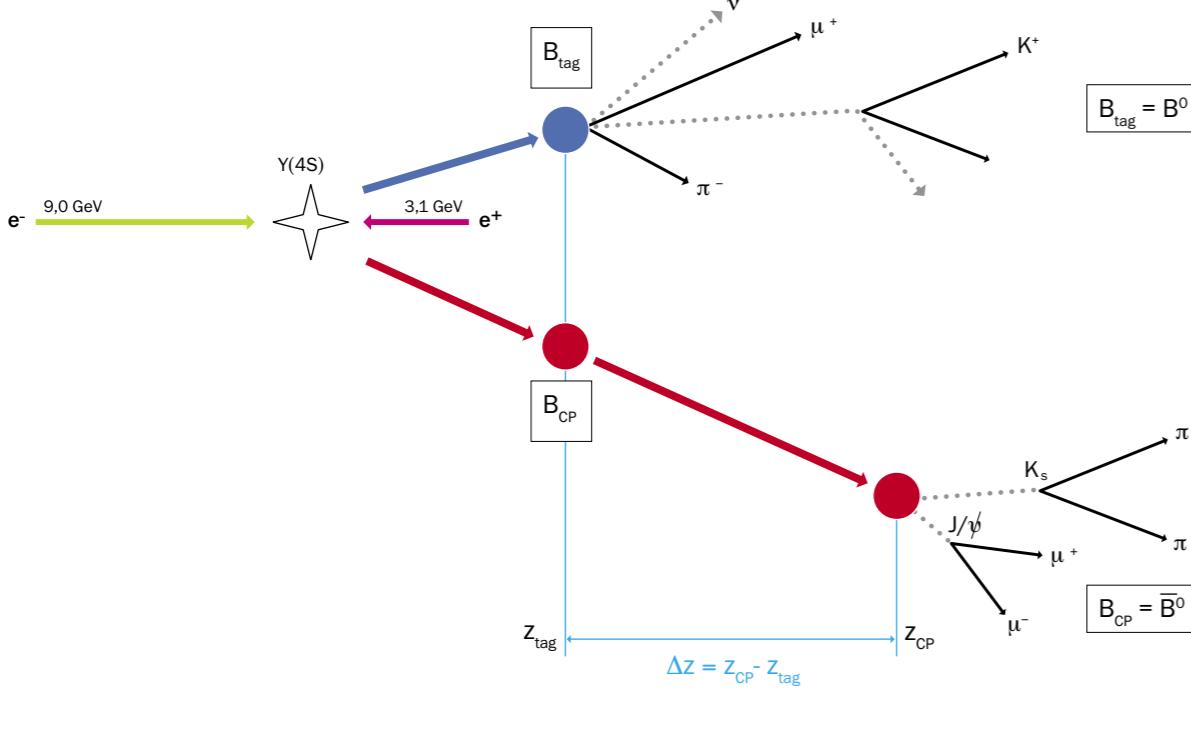
Si identificano le particelle prodotte nel decadimento del  $B_{tag}$  e, dai segni delle loro cariche elettriche, si capisce se esso era un  $B^0$  oppure un anti- $B^0$ . L'entanglement ci assicura che, all'istante del decadimento del primo  $B^0$ , il secondo era del tipo opposto.

In tempi sempre dell'ordine del picosecondo, decade anche il secondo mesone, il  $B_{CP}$ .

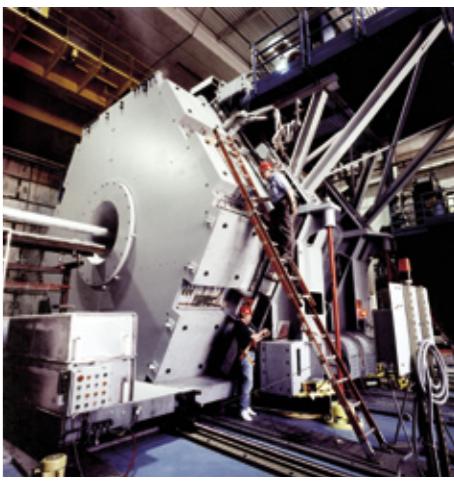
I modi di decadimento di  $B_{CP}$  sono numerosissimi, ma ne verranno selezionati solo alcuni particolarmente significativi, innanzitutto quello indicato in figura, con creazione di un  $K_s$  e di una  $J/\psi$ , che a loro volta decadono rapidamente in altre particelle, quelle che finalmente il rivelatore è in grado di "vedere".

Raccogliamo almeno qualche centinaia di eventi in cui il  $B_{tag}$  sia un  $B^0$  e altrettanti in cui sia un anti- $B^0$ . Per ciascun evento si registra la distanza tra i due punti di decadimento ( $\Delta z$ ) di  $B_{tag}$  e di  $B_{CP}$  e, essendo nota la velocità (circa la metà della velocità della luce c), si ricava la differenza temporale tra i due decadimenti (il  $\Delta t$ ), che è dell'ordine dei picosecondi.

Si costruiscono due grafici, ciascuno dei quali mostra la distribuzione degli eventi in funzione degli intervalli temporali  $\Delta t$ , misurati con tag  $B^0$  e con tag anti- $B^0$ : se sono diversi, c'è violazione CP. E il risultato, raggiunto nel 2001, è inequivocabile: c'è violazione CP.



a.



b.

Il  $\Delta t$  della fig. 1, in realtà viene misurato attraverso la distanza tra i due "vertici" di decadimento, che distano alcune centinaia di micron, nota la velocità dei due  $B^0$ , dell'ordine di metà della velocità della luce: per fare misure di così alta precisione, Babar ha costruito un complesso rivelatore di tracce (tracciatore), costituito da sensori di silicio che avvolgono il punto di collisione. Ma non basta: se il collisore fosse stato di tipo tradizionale, con due fasci della stessa energia, le distanze da misurare sarebbero ben al di sotto dei valori raggiungibili. Per risolvere il problema, sia l'acceleratore americano che quello giapponese hanno una caratteristica essenziale, sono due macchine "asimmetriche", i due fasci hanno energie significativamente diverse, e di conseguenza i due  $B^0$  viaggiano nel verso del fascio più energetico e i vertici di decadimento sono più lontani rispetto al caso di una macchina simmetrica. Il rivelatore Babar è stato costruito a strati concentrici, ciascuno con rivelatori diversi adatti a misurare ciò che emerge dalle collisioni (vd. fig. b).

Allontanandosi dal centro, si trova una camera a fili che misura le tracce delle particelle cariche, un rivelatore di elettroni e fotoni in grado di misurarne l'energia, un identificatore di particelle basato sull'effetto Cherenkov (vd. Asimmetrie n. 10, "Raggi cosmici", settembre 2010, p. 29, ndr), uno speciale solenoide magnetico superconduttore (progettato e costruito in Italia) che curva le particelle caricate permettendone la misura dell'impulso, e un rivelatore per muoni all'interno degli strati di ferro che racchiudono l'apparato e raccolgono le linee di forza del campo magnetico.

Dal 2001, anno del primo risultato con i B neutri, sino a oggi sono state eseguite un gran numero di analisi utilizzando altri processi, anche con l'uso di B carichi. I risultati, numerosissimi, sono tra loro coerenti, confermano con straordinaria precisione le previsioni del modello standard e non danno adito a dubbi: i mesoni K non sono più soli, anche i B dimostrano che le interazioni deboli violano CP, provando che materia e antimateria hanno un comportamento diverso.

### Biografia

**Crisostomo Sciacca** è professore di fisica all'Università "Federico II" di Napoli. Ha svolto la sua attività di ricerca in fisica delle particelle elementari nei Laboratori Nazionali di Frascati, al Cern e a Stanford nell'esperimento Babar.

### Link sul web

[www.slac.stanford.edu/BF/](http://www.slac.stanford.edu/BF/)

[www-public.slac.stanford.edu/babar/](http://www-public.slac.stanford.edu/babar/)

a.  
Nel laboratorio giapponese Kek, l'esperimento Belle, come lo statunitense Babar, studia la violazione di simmetria CP dei mesoni B.

b.  
L'esperimento Babar al collisore elettrone-positrone Pep II del laboratorio Slac di Stanford.

## Fisica del sapore in Lhc

Se i suoi fratelli maggiori, *Atlas*, *Cms* e *Alice*, "martellano" la materia che transita in Lhc alla ricerca di nuova fisica, l'esperimento *Lhcb* cerca di identificare le possibili, infinitesime anomalie che proprio la nuova fisica potrebbe causare nello studio della simmetria tra materia e antimateria. Come cercare un ago in un pagliaio. La struttura di *Lhcb* è profondamente differente da quella degli altri esperimenti di Lhc: i rivelatori di cui è composto sono tutti collocati da un lato rispetto al punto di collisione. E così, mentre gli altri sono interessati a osservare e rivelare ciò che accade nella *regione centrale*, *Lhcb* studierà i processi *in avanti*, cioè quelle collisioni in cui la maggior parte delle particelle vengono emesse lungo la direzione dei fasci. Queste collisioni sono interessanti perché è durante questi eventi che il quark beauty viene prodotto con maggiore probabilità. Un

sofisticato rivelatore di vertice al silicio e un sistema che identifica le scie delle particelle nello spazio ci permetteranno di seguire da vicino i primi millesimi di miliardesimo di secondo di vita della particella, il mesone B, che contiene i quark beauty. Grandi specchi riflettenti chiariranno la natura delle particelle emesse nell'interazione primaria raccogliendo la luce Cherenkov su fotosensori al silicio.

A valle dell'esperimento, un grande muro di piombo e ferro permetterà di filtrare tutta la radiazione rimanente per identificare i muoni, veri e propri testimoni della reale natura dell'interazione avvenuta tra i protoni di Lhc.

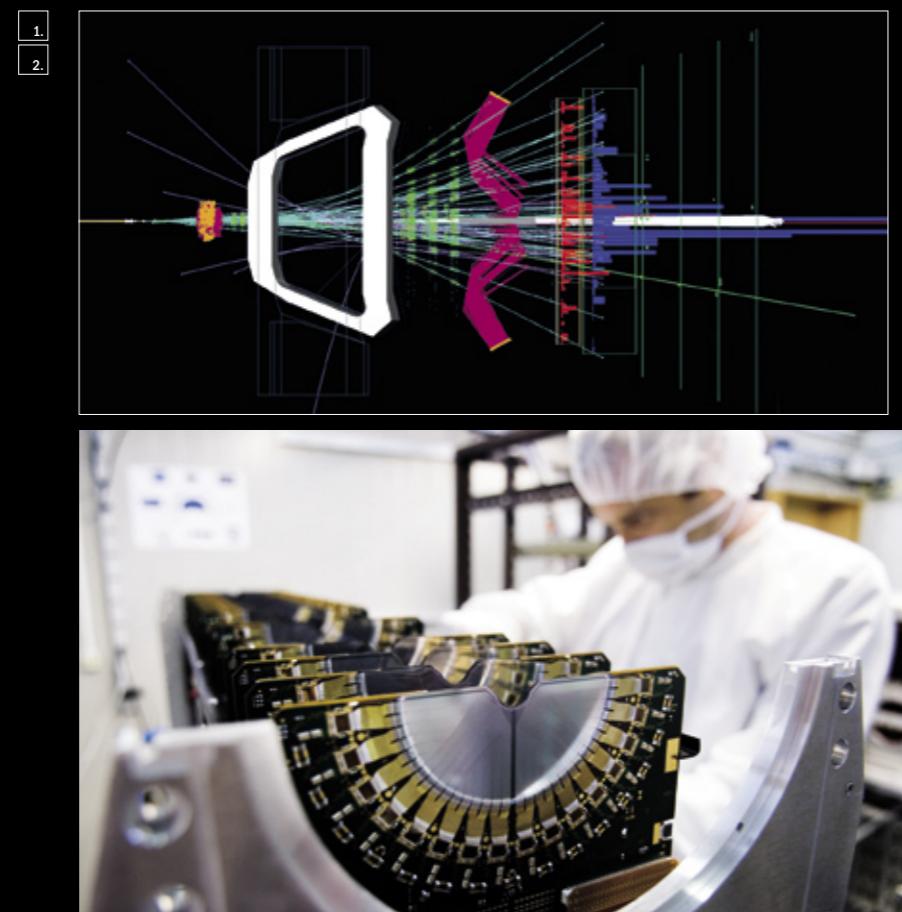
*Lhcb* è una grande collaborazione internazionale che conta circa 600 tra fisici e ingegneri che hanno lavorato in questi anni al progetto. Italiani, tedeschi, spagnoli, inglesi, francesi, olandesi, svizzeri, russi, brasiliani, americani e ricercatori del Cern. L'Infn ha coperto un ruolo di grande rilevanza nella costruzione dell'apparato, in particolare per la parte dedicata all'identificazione dei mesoni K e dei muoni. L'apparato è in presa dati, assieme agli altri esperimenti di Lhc, dal novembre del 2009 e conta di raccogliere dati per almeno cinque anni. [Pierluigi Campana]

### Biografia

Pierluigi Campana è ricercatore ai Laboratori di Frascati dell'Infn, dove lavora dal 1993 all'esperimento *Klue* a Dafne. È stato recentemente nominato coordinatore internazionale dell'esperimento *Lhcb*, incarico che ricoprirà a partire da giugno 2011.

### Link sul web

<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb-public/>  
<http://lhcb.web.cern.ch/lhcb/>  
[http://web.infn.it/lhcb\\_bologna/index.php/](http://web.infn.it/lhcb_bologna/index.php/)  
[lhcb-virtual-tour](#)



1.  
Le prime collisioni all'energia di 7 TeV viste dall'esperimento *Lhcb*. La ricostruzione dell'evento registrato da *Lhcb* mostra l'asimmetria di questo esperimento che studia i cosiddetti "eventi in avanti", rispetto al punto di collisione dei fasci di protoni.

2.  
Il rivelatore di vertice. Ha il compito di "fotografare" i decadimenti in volo (nello spazio di qualche millimetro) dei mesoni B e di determinarne con la precisione di poche decine di micron il punto esatto dove il fenomeno è accaduto.

# Una fabbrica di fascino e bellezza

## SuperB, un laboratorio italiano per il futuro.

di Marcello Giorgi

Oggi i grandi programmi sperimentali di fisica delle interazioni fondamentali hanno l'obiettivo di capire se le diverse teorie che descrivono i fenomeni fisici possano derivare da una teoria generale e unificatrice. Una teoria cioè che sia in grado di spiegare i meccanismi che stanno alla base dell'origine dell'universo. Il laboratorio ideale per ricreare le condizioni dei primi istanti di vita dell'universo, frazioni infinitesimali di tempo dopo l'attimo iniziale del Big Bang, sono le grandi macchine acceleratrici, come Lhc al Cern di Ginevra, in grado di produrre eventi rari e nuove particelle elementari.

All'interno degli anelli degli acceleratori a fasci incrociati (i collisori), pacchetti di particelle circolano a velocità prossima a quella della luce in versi opposti. Queste particelle vengono fatte collidere in alcune regioni di incrocio, le zone di interazione. Nello scontro (che può avvenire tra elettroni e positroni, oppure tra protoni e protoni, o tra protoni e antiprotoni) si creano le condizioni per la produzione di particelle, che vengono viste e registrate nei rivelatori.

I collisori sono le macchine ideali per gli studi delle interazioni fondamentali. Questi seguono principalmente due vie diverse ma complementari.

La via classica è quella dell'altissima energia, utilizzata a Lhc, in modo da disporre nella collisione di protoni dell'energia sufficiente a creare nuove particelle di grande massa e studiarne la dinamica.

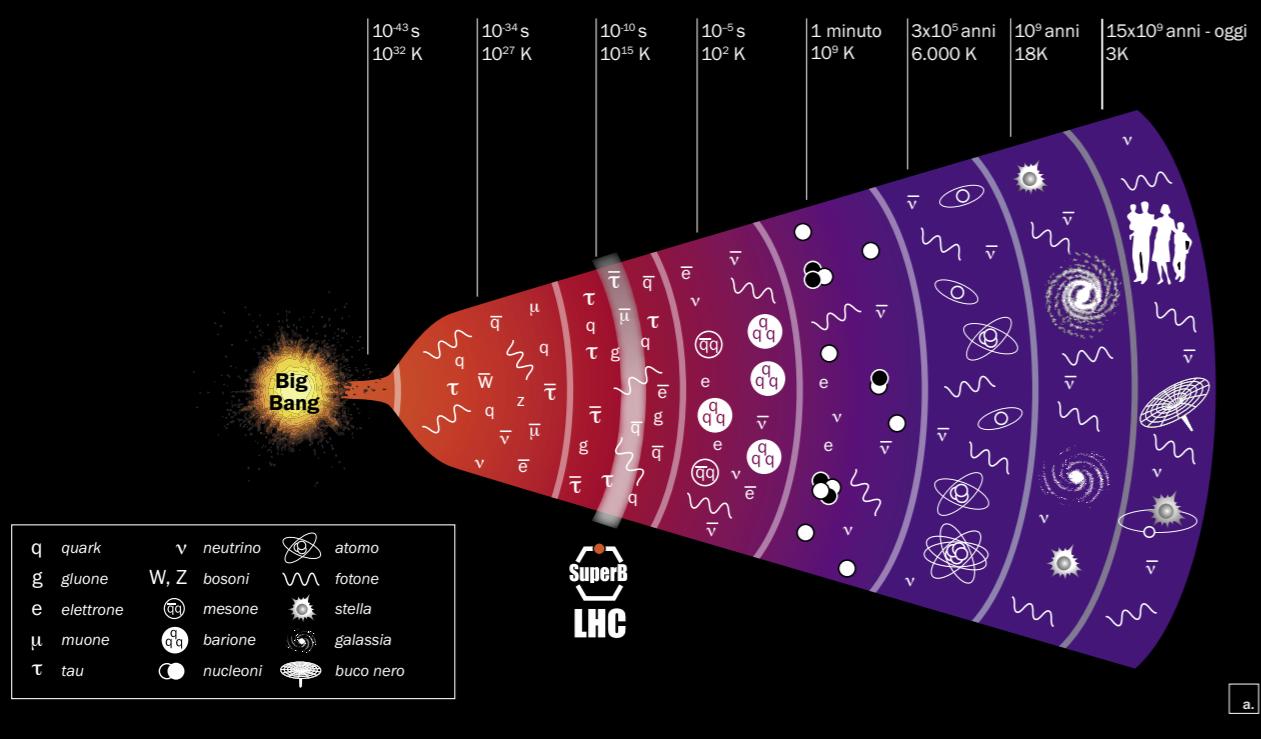
La seconda via consiste invece nell'aumentare a bassa energia il numero di reazioni prodotte nell'unità di tempo in laboratorio.

In questo modo, attraverso lo studio di processi estremamente rari di decadimento di particelle già note, si possono evidenziare piccolissimi effetti non previsti dalle teorie oggi universalmente accettate.

Questa seconda via consente di raggiungere l'obiettivo a costi decisamente inferiori, a condizione di costruire un acceleratore, per esempio un collisore elettrone-antielettrone ( $e^+ e^-$ ), in grado di raggiungere una luminosità (cioè la grandezza proporzionale alla frequenza delle collisioni) circa cento volte più elevata rispetto alle macchine attuali. Ma è necessario anche costruire rivelatori assai resistenti alle radiazioni e in grado di registrare eventi con frequenze cento volte più elevate rispetto agli apparati attuali. È questa la strada seguita nel progetto SuperB.

Il programma completo di SuperB richiede alta luminosità, ma anche alta polarizzazione (80-90%) di un fascio, e possibilità di operare a energie diverse, inclusa la bassa energia, per produrre esclusivamente quark charm e leptoni tau. Pertanto SuperB, guardando a violazioni della simmetria CP e della conservazione del sapore leptonico (vd. p. 20, ndr), esplorerà i vari settori della fisica del sapore, un ambito di ricerca che ha ricevuto contributi fondamentali sia dal punto di vista teorico che sperimentale da parte dei fisici italiani.

Nel suo complesso, SuperB, intesa come macchina acceleratrice e rivelatore, avrà la sensibilità sufficiente per garantire la misura di piccole asimmetrie nel decadimento di particelle instabili: leptoni pesanti come il tau e quark



a.



b.

pesanti beauty e charm. Le asimmetrie che si intende misurare sono legate a piccole deviazioni da quanto previsto dalla teoria standard delle particelle elementari. SuperB ha questa capacità di scoperta come altri progetti scientifici di grande respiro, incluso il progetto di esperimento nella macchina giapponese *SuperKekB*. L'unicità di SuperB poggia su tre punti. Primo, una luminosità più elevata e aumentabile fino a un fattore quattro, che significa la possibilità di raccogliere un numero di eventi fino a cinque volte superiori a quello ottenibile ad esempio con *SuperKekB*. Secondo, la possibilità di avere fasci polarizzati, cioè con lo spin degli elettroni allineati lungo la direzione del moto delle particelle che collidono. Questa caratteristica, attraverso lo studio delle correlazioni delle particelle prodotte dopo la collisione, permette di studiare violazioni di simmetria e inoltre di eliminare parte di eventi non desiderati che possono mascherare piccoli effetti. Infine, la possibilità di variare l'energia dei fasci e arrivare a produrre coppie di mesoni con caratteristiche che consentano alla macchina di guadagnare ancora in sensibilità per lo studio della violazione della simmetria CP nel decadimento del quark charm. Il collisore ad alta luminosità SuperB, oltre al programma di fisica delle interazioni fondamentali, si presta a impieghi multidisciplinari con importanti ricadute nello sviluppo di nuove tecnologie. A questo proposito

è evidente il ruolo importante che riveste la sinergia con i programmi dell'Istituto Italiano di Tecnologia (Iit). È infatti possibile, ad esempio, sfruttare l'acceleratore come sorgente di luce pulsata ad alta brillanza.

La macchina sarà dotata di varie linee di luce per poterla così utilizzare anche nella scienza dei materiali e in applicazioni biotecnologiche. Ben al di là del normale tempo di vita di un acceleratore dedicato alla fisica fondamentale, che è solitamente dell'ordine di un decennio, è prevedibile che si possa impiegare SuperB come sorgente di luce per alcune decadi.

Il programma di ricerca di SuperB richiede la minuziosa analisi di una quantità di eventi tale che il collisore elettrone-positrone più luminoso attualmente disponibile (*KekB*) impiegherebbe ben più di un secolo per fornirci la stessa messe di dati.

Com'è possibile ottenere questo risultato con SuperB? Il tempo necessario per produrre un determinato numero di particelle in un collisore è inversamente proporzionale alla densità di ciascuno dei due pacchetti nel punto di collisione e alla frequenza con cui essi collidono. Dunque la ricetta per ridurre un'attesa secolare è di far collidere pacchetti di densità massima il più frequentemente possibile. La strada seguita nel progetto SuperB consiste nel ridurre considerevolmente le dimensioni dei pacchetti che nelle attuali B factories hanno lunghezza dell'ordine del centimetro, larghezza dell'ordine

a.

Rappresentazione schematica dell'evoluzione dell'universo. SuperB riuscirà ad andare "indietro nel tempo", come Lhc. Se il punto di forza di Lhc è l'altissima energia a cui avvengono le collisioni, SuperB studierà eventi rarissimi grazie all'elevatissima luminosità che potrà raggiungere.

del decimo di millimetro e altezza dell'ordine di qualche millesimo di millimetro.

La soluzione di SuperB è frutto del lavoro degli esperti dei vari laboratori, ma si basa su idee sviluppate soprattutto in Italia e sperimentate dalla divisione acceleratori dei Laboratori Nazionali di Frascati dell'Infn con l'acceleratore Dafne, come l'originale idea dell'incrocio ad angolo dei fasci (*crab waist transformation*), che costituisce uno dei punti di forza del progetto. Gli esperimenti e le simulazioni sin qui compiute mostrano che SuperB sarà in grado di soddisfare la richiesta della fisica e produrre 1.000 coppie di mesoni B, altrettante coppie di leptoni tau e diverse migliaia di mesoni D per ogni secondo di operazione a pieno regime.

I ricercatori non dovranno attendere più di un secolo per accumulare il campione di SuperB, ma solo pochi anni (vd. p. 48, ndr).

Il laboratorio di appoggio privilegiato per gli sviluppi e il lavoro preparatorio per SuperB è quello dei Laboratori Nazionali di Frascati, dove tradizionalmente si sono concentrate le attività di ricerca di fisica delle particelle elementari. Basti ricordare il sincrotrone, il primo esperimento di collisioni elettrone-positrone con il piccolo anello Ada a opera di Bruno Touschek, successivamente Adone e infine Dafne che ha prodotto interessanti risultati proprio per la fisica del sapore con l'esperimento Kloe (vd. p. 33, ndr). Un'impresa basata su una concentrazione così elevata di tecnologie avanzate come quelle

richieste per la realizzazione della macchina, dei rivelatori, dell'elettronica e dei mezzi informatici necessari alla digestione dei dati avrà certamente una ricaduta positiva sulle imprese italiane. E costituisce anche uno stimolo forte per il miglioramento delle loro capacità di innovazione. L'esperimento SuperB, con una presenza costante di oltre duecento collaboratori stranieri, oltre a un flusso di visitatori valutabili in cinquecento scienziati all'anno, si propone come il luogo ideale per la formazione di personale tecnico-scientifico di alto livello e come un'opportunità di prestigio internazionale per la ricerca scientifica italiana.

#### Biografia

**Marcello Giorgi** è ricercatore dell'Infn e professore all'Università di Pisa. Ha lavorato all'esperimento Aleph al Cern e ha diretto l'esperimento Babar allo Slac (USA). Ora guida la collaborazione internazionale del progetto SuperB.

#### Link sul web

<http://web.infn.it/superb/>

<http://www.kek.jp/intra-e/feature/2009/SuperKEKB.html>

b.  
In primo piano i magneti di Pep II, il collisore che era in funzione al laboratorio Slac di Stanford negli Stati Uniti. Questi magneti saranno impiegati per la costruzione di SuperB.

[as] con altri occhi

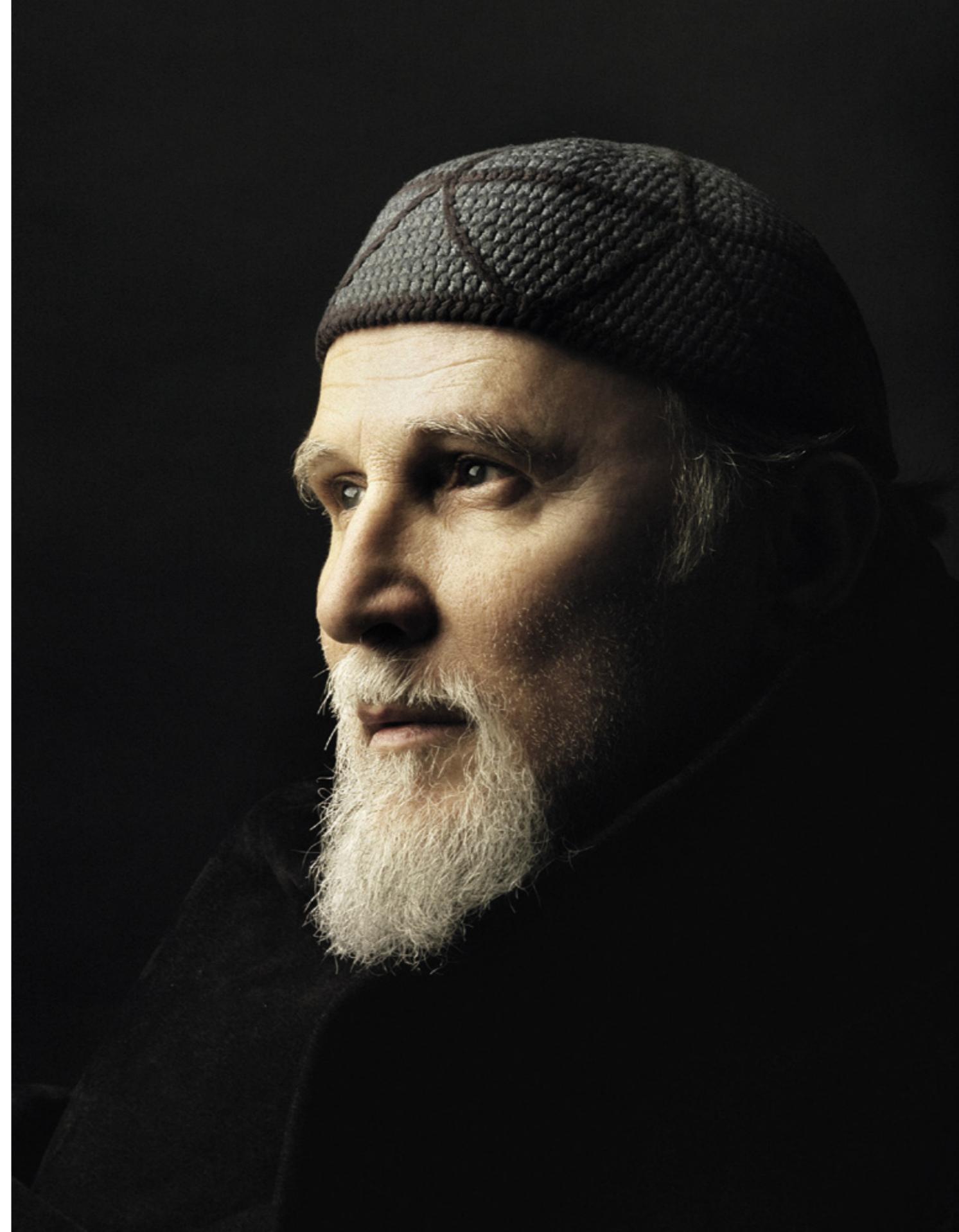
# La relatività sabbatica.

di Moni Ovadia,

attore teatrale, musicista e scrittore

Per tutta la vita, ho avuto modo di vivere secondo le mie scelte e di realizzare progetti nutriti dalla passione, in cui credevo e che amavo. Pur attraverso molti travagli e difficoltà, sono approdato a una sintonia con me stesso di cui sono ragionevolmente soddisfatto e consapevole, sia sul piano professionale che su quello etico sociale. Ciononostante non ho potuto evitare di avere alle spalle alcuni grandi rimpianti. Uno dei più acuti è stato quello di non essermi dedicato in profondità a qualche aspetto della cultura scientifica e nella fattispecie alla fisica. Certo avrei potuto rimettermi a studiare, ma operare delle scelte significa optare per una gestione del proprio tempo e accettarne i limiti. Dunque l'informazione divulgativa è il massimo livello di conoscenza a cui ho potuto accedere. Il culmine della frustrazione causato dalla mancanza di sapere scientifico per me è tuttora rappresentato dall'incapacità di capire autenticamente il significato della rivoluzione portata dalla teoria dell'universo di Albert Einstein. La figura del grande scienziato e umanista ha permeato di sé l'intero '900 e continua ad accompagnarmi nel nuovo millennio. La sua immagine fa parte del repertorio iconico di centinaia di milioni di esseri umani in tutto il pianeta, è entrata nella cultura popolare ed è approdata al cinema e alla televisione anche nelle forme della fiction. Una storiella ebraica ha registrato a suo modo la teoria della relatività: un vecchio ebreo un giorno ha l'occasione di incontrare il professor Einstein e pieno di emozione gli domanda, "profèsor Einstein io sono un vechio e come ibreo sono molto orgolioso che lei è uno dei nostri, ma non so il matematica e il fisica, potrebbe lei mi spiegare il suo teoria del relatività?". Einstein gli risponde: "Guardi, mettiamola così! Se lei sta seduto su una poltrona con una splendida fanciulla nuda

sulle gambe, un'ora le sembra un secondo, se invece lei sta seduto con il sedere nudo su una stufa arroventata, un secondo le sembra un'ora". A quel punto, assai perplesso il vecchio ebreo dice a Einstein: "Profèsor Einstein è con questo che lei si guadagna da vivere?". Ma umorismo a parte, che cosa c'è di ebraico in ciò che il genio della fisica ha prima intuito e poi elaborato in teoria scientifica? Non la sua prodigiosa intelligenza, né la sua statura etica che appartengono all'universale umano, cosa dunque? I miei studi amatoriali di ebraismo mi hanno portato a formulare una balzana ipotesi, ovvero, che l'avere postulato l'identità di spazio e tempo abbia una relazione con lo *shabbat* ebraico. L'orizzonte sabbatico inaugura la dimensione del tempo come spazio dell'umano in prospettiva extraterritoriale ed extratemporale. Lo spazio della terra, anche quello della terra di santità, nella celebrazione dello *shabbat* si fa da parte per accogliere la dignità dell'universalismo, che può esistere solo dove lo spazio dell'umano si identifica con il tempo dell'umano, dove il tempo dell'umano è lo spazio dell'umano, oltre i confini, oltre i limiti angusti e costrittivi del potere e dell'alienazione, al fine di accedere a uno spaziotempo che apre lo sguardo all'infinito degli universi. Lo *shabbat* con la sua inedita relazione spaziotempo introduce nella cultura dell'uomo i concetti di libertà e uguaglianza, sottraendolo alle idolatrie della produzione e del consumo, per affermare la priorità dello studio e della conoscenza nel quadro di una visione dell'essere umano come creatura integra e inviolabile. La mia ipotesi è certamente molto fantasiosa e tirata per i capelli, ma mi piace pensare che nel retroterra intimo della formazione di Einstein, lo spaziotempo sabbatico abbia potuto influire sull'intuizione della relatività.



## [as] incontri

# Tutti a bordo sul Bus della scienza.

di Catia Peduto



a.

Il 2 luglio scorso il cuore scientifico di Torino ha ricominciato a battere e la città si è trasformata in un vero e proprio laboratorio di tecnologia e scienza attraverso Esof 2010 (*European Science Open Forum*), l'incontro europeo biennale multidisciplinare dedicato alla ricerca e all'innovazione scientifica. Agli incontri di Esof hanno partecipato scienziati, ricercatori di tutte le età, imprenditori e innovatori, politici, comunicatori e il pubblico di tutto il mondo per discutere delle scoperte più recenti e dibattere del futuro della ricerca in tutte le discipline. Al grido di "Hop on the science bus to Torino!" l'Infn ha organizzato il suo *Bus della scienza* che, nell'ambito dell'iniziativa *Science shuttle*, come unico bus italiano, ha portato una trentina di studenti, dottorandi e giovani ricercatori affiliati all'Infn a partecipare alle conferenze di Esof. "Con Esof la fondazione Euroscience è riuscita nell'intento di colmare non solo la distanza fra scienziati di nazionalità e discipline differenti, ma anche quella fra mondo del lavoro e ricerca, comunque quasi fantascientifica nel nostro paese", ci ha raccontato Gigi Capello, dell'Infn di Catania. "Al di là dell'ottima esperienza scientifica e professionale, resta per me uno straordinario ricordo di umanità e di amicizia, valori che mi fa piacere considerare fondamentali per un uomo di scienza". "Forse sembrerà banale - ci ha detto, invece, Annalisa De Lorenzis di Bari - ma per una

studentessa come me, che ha la passione per la fisica, ritrovarsi a parlare faccia a faccia in particolar modo con il premio Nobel Gerard 't Hooft (premio Nobel per la fisica nel 1999, ndr), un nome che ho sempre ritrovato negli articoli o nei libri che ho letto, è stata una grande emozione".

Oltre a organizzare il proprio *Bus della scienza*, l'Infn ha partecipato a Esof con varie iniziative, tra cui la mostra "Esploratori dell'Universo", che i ragazzi hanno visitato e che racchiudeva le due mostre "La scienza accelera!", promossa dal Cern di Ginevra, e "L'invisibile meraviglia", promossa dall'Infn e dai dipartimenti di fisica dell'Università degli Studi di Torino.

"La mostra organizzata dall'Infn mi è piaciuta tantissimo, perché illustra un argomento vasto come l'universo in una maniera così semplice (con giochi, video, foto), che secondo me anche i bambini possono riuscire a capire il funzionamento di un acceleratore o iniziare a conoscere i mattoni fondamentali della materia", ha osservato Mauro Munerato di Ferrara. L'iniziativa ha riscosso un grande entusiasmo fra tutti i giovani partecipanti al Bus. Tutti pronti per ripartire anche per Esof 2012, che si terrà a Dublino.

I racconti integrali dei ragazzi che hanno partecipato al *Bus della scienza* dell'Infn possono essere letti su [www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it).

a.

I ragazzi del *Bus della scienza* dell'Infn alla partenza del Bus da Bologna.

## [as] tecnologia e ricerca

# Quando si dice ricerca e sviluppo.

di Francesca Scianitti



a.

La Fondazione Bruno Kessler (Fbk) è un ente di ricerca di eccellenza, unico nel suo genere in Italia. "La condivisione di capacità specifiche dell'Infn e del know-how di Fbk nella microtecnologia del silicio ha costituito fin dall'inizio un modello virtuoso, capace di contrastare la migrazione all'estero delle idee e delle risorse investite dall'Infn - spiega Pierluigi Bellutti, direttore del laboratorio di microtecnologie di Fbk, l'MTLab. "Si tratta di un modello probabilmente unico a livello nazionale, che grazie al carattere innovativo di Fbk ha saputo dare il via all'utilizzo industriale delle tecnologie sviluppate". Voluta dalla Provincia autonoma di Trento, la Fondazione Bruno Kessler nasce come fondazione pubblica a diritto privato nel 2007, raccogliendo l'eredità dell'Istituto Trentino di Cultura (Itc) e, con esso, del Centro per la Ricerca Scientifica e Tecnologica (Irst). Sin dal suo avvio, a fine anni '80, l'Irst focalizza una parte importante delle sue attività di ricerca e sviluppo sui sensori e l'elettronica di lettura. Ma anche grazie a contatti puntuali con i ricercatori dell'Infn, interessati allo sviluppo di rivelatori ad hoc per gli esperimenti, a partire dalla metà degli anni '90 prende sempre più spazio l'attività di realizzazione di sensori di radiazioni. I primi rivelatori a microstrisce a doppia faccia sono pensati per l'esperimento Ams, il rivelatore per lo studio dell'antimateria,

che a breve sarà ospitato sulla Stazione Spaziale Internazionale, e per l'esperimento Alice di Lhc, al Cern di Ginevra. "Convinto dall'alto livello di affidabilità dei prototipi - spiega Bellutti - nel 2000 il management di Itc-Irst decide di impegnarsi nella produzione di massa oltre che nello sviluppo dei rivelatori. Questo richiede un'importante riorganizzazione dei laboratori di micro fabbricazione e di testing, un nuovo modello di lavoro dal quale prende l'avvio il progetto di MTLab, il laboratorio che dirigo. Situato in posizione mediana tra il mondo della ricerca e quello dell'impresa l'MTLab introduce da questo momento un'organizzazione di tipo aziendale, ma con la flessibilità necessaria al mondo della ricerca". La relazione con l'Infn compie il salto di qualità decisivo nel 2004, quando passa dall'essere un rapporto di collaborazione capillare tra singoli ricercatori a un rapporto molto più strutturato e diretto tra gli organi direttivi dei due enti. Il salto avviene grazie al progetto comune denominato Mems (*Sistemi Micro Elettro Meccanici*) finalizzato alla realizzazione di sistemi "intelligenti", quali fotomoltiplicatori al silicio, bolometri, sensori 3D e *Time Projection Chambers* al silicio, tutti dispositivi che integrano in uno spazio piccolissimo molte funzioni diverse. "Si tratta di un progetto di cofinanziamento,

a.  
Un ricercatore della Fondazione Bruno Kessler all'interno della camera pulita del laboratorio di microtecnologie, l'MTLab.

ottenuto anche grazie al supporto della Provincia autonoma di Trento, per l'avvio di attività specifiche di ricerca e sviluppo – spiega Bellutti – il cui obiettivo è la realizzazione di dispositivi d'interesse per la comunità dell'Infn, con il potenziamento dell'offerta tecnologica di MTLab. La ricchezza del rapporto tra Fbk e Infn è nella complementarietà tra i rispettivi ricercatori: i ricercatori dell'Infn hanno molto chiaro l'obiettivo che intendono raggiungere. La proposta nasce poi nella discussione, quindi Fbk si fa carico di interpretare la richiesta e proporre lo sviluppo della tecnologia. Quest'ultimo è poi portato avanti nel confronto continuo”.

E lo sviluppo delle tecnologie ha dato risultati ben oltre le aspettative, soprattutto quando si tratta di dispositivi di interesse per il mercato. “Nel caso dei fotomoltiplicatori al silicio (SiPM) – spiega Bellutti – le prestazioni della nostra tecnologia tengono testa ai dispositivi realizzati dal colosso giapponese Hamamatsu Photonics”. Anche per questo oggi Fbk, con il suo Centro Materiali e Microsistemi (ex Irst), è in grado di affrontare l'intero processo di produzione, dall'avvio della ricerca alla realizzazione del prototipo, ma è anche un fornitore in proprio di prodotti in serie che, in caso di volumi enormi, sono realizzati con impianti industriali qualificati.

“Avere accettato e vinto la sfida di coprire l'intera traiettoria tra la ricerca, lo sviluppo e la produzione di dispositivi al silicio – precisa Bellutti – è stato un fatto assolutamente straordinario per un ente pubblico come l'Itc”. Un processo che mette oggi Fbk in una posizione di forza anche a livello internazionale, come mostrano le attività a favore di gruppi industriali anche stranieri, e non solo europei. Ma lo sviluppo delle tecnologie per la ricerca in fisica delle alte energie ha portato anche frutti inizialmente non previsti. “Lo sviluppo dei fotomoltiplicatori al silicio – spiega Bellutti – ha condotto alla collaborazione con la Philips per la realizzazione di strumenti per la diagnosi medica e sono oggi oggetto di promozione nel campo della caratterizzazione dei materiali e delle analisi chimiche e biologiche, per esempio nei citometri per le analisi del sangue”. Ma grazie allo sviluppo dei sensori al silicio, Fbk è oggi anche un produttore di celle fotovoltaiche. “Produciamo celle a concentrazione, dispositivi che riducono la quantità di silicio impiegato, grazie a lenti o specchi che concentrano la luce su chip di dimensioni ridotte – spiega Bellutti – una tecnologia in grado di aprire scenari promettenti per una consistente riduzione dei costi di produzione dell'energia”.



b.

La camera pulita del laboratorio di microtecnologie della Fondazione Bruno Kessler.

[as] benvenuti a bordo

# Aggiustare simmetrie.

di Catia Peduto

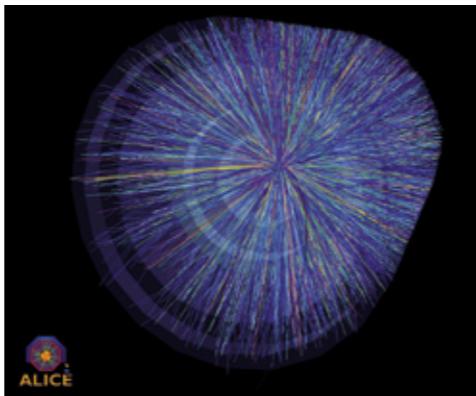
Siamo andati a trovare Niccolò Loret all'Università "Sapienza" di Roma. L'appuntamento era fissato per le ore 11.30, ma il traffico romano non ci ha permesso di essere puntuali. Purtroppo non c'era modo di avvisare Niccolò, dato che forse è uno dei pochi che ancora non ha un cellulare. Ma Niccolò era comunque lì, sul luogo dell'appuntamento davanti alla Facoltà di Fisica, dove passa la gran parte del suo tempo nell'aula dei dottorandi. Niccolò ha scelto di fare il dottorato in fisica teorica, più precisamente studia la cosiddetta *relatività doppiamente speciale*. “Beh, questo è il nome pubblicitario, in realtà noi preferiamo dire che studiamo l'*algebra di k-Poincaré*. È un'evoluzione della relatività speciale di Einstein”, ci spiega Niccolò. “In pratica, studio costruzioni matematiche molto, molto complicate. A energie elevatissime, molte delle teorie di gravità quantistica prevedono

che le simmetrie spaziotemporali (come ad esempio quella di Lorentz) siano rotte. Il mio professore (Giovanni Amelino Camelia, ndr) un giorno, invece, si è detto: ‘ma perché avere a che fare per forza con simmetrie rotte, si potrebbe provare a deformarle!’. Ed è questo quello che stiamo cercando di fare”. “Ho scelto di fare questo dottorato – continua Niccolò – perché non è puramente teorico. Ora stiamo cercando di immaginare qualche esperimento per verificare se la nostra è una teoria che ha senso. Questo, altri teorici non sono neanche riusciti a farlo con la famosa teoria delle stringhe!”. E come sarebbe un tale esperimento, grande come l'acceleratore a Ginevra, Lhc? “Beh, per verificare la nostra teoria, un acceleratore di particelle dovrebbe essere grande come tutta la galassia!”, scherza Niccolò. “No, quello che, ad esempio, cerchiamo di fare è di cercare

la risposta nei raggi cosmici”. Oltre a fare conti complicatissimi, Niccolò ha vari altri interessi. In particolare, è un ambientalista convinto. Inoltre, fa parte del gruppo di giovani studenti di fisica di nome Accatagliato. “Inizialmente è nato come un forum dove gli studenti potevano scambiarsi appunti, idee sui corsi o giudizi sui professori”, ci spiega Niccolò. “Poi ci siamo allargati e ora pubblichiamo addirittura una rivista (Accastampato) che si rivolge a studenti dei licei. Se qualche lettore di Asimmetrie è interessato, può trovare informazioni sul nostro sito ([www.accatagliato.org](http://www.accatagliato.org)) oppure nell'omologo gruppo su Facebook”. Bene, la breve intervista è finita, ma a noi resta aperta una curiosità, e gli chiediamo, se, prima o poi, ha intenzione di comprarsi un cellulare. La risposta è secca: “No, non credo proprio!”. I teorici, evidentemente, non vogliono essere disturbati nei loro calcoli, pensiamo.



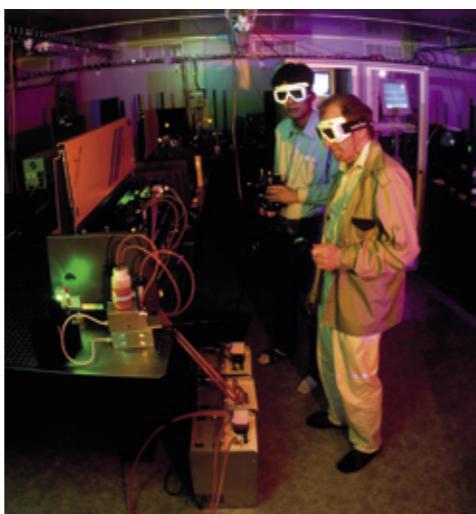
**Piombo contro piombo** Dallo scorso novembre fino alla pausa natalizia, per il superacceleratore Lhc di Ginevra, è stato il "mese dei nuclei". La mattina dell'8 novembre 2010 gli esperimenti Alice, *Atlas* e *Cms* hanno iniziato a registrare le prime collisioni tra nuclei di piombo. A causa dell'elevata energia dell'urto e della compressione che subiscono nello scontro i 208 protoni e neutroni che compongono ciascun nucleo, si sono formate delle "sfere" con una densità di materia mai raggiunta finora in nessun acceleratore e una temperatura elevatissima: oltre centomila volte quella del nucleo del Sole. I risultati non si sono fatti attendere: sono stati visti, infatti, indizi del cosiddetto "brodo primordiale" o "plasma di quark e gluoni", cioè lo stato della materia che si creò subito dopo il Big Bang. Solitamente le collisioni producono getti di particelle in modo simmetrico in tutte le direzioni. Durante le collisioni piombo-piombo a Lhc si sono osservati, invece, getti di particelle sbilanciati. Questa asimmetria potrebbe indicare l'esistenza del plasma di quark e gluoni, perché i getti di particelle si attenuano maggiormente quanta più materia calda e densa attraversano. Il mese degli ioni è stato quindi un successo. [A. V.]



**Si parte!** È stato approvato dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca italiano (Miur) il progetto SuperB. Il programma di ricerca, proposto e sostenuto dall'Infn e inserito dal Governo fra i progetti bandiera contenuti nel Pnr (Programma Nazionale della Ricerca), prevede la realizzazione in Italia di un collisore a elettroni e positroni per la ricerca fondamentale, che permetterà studi complementari rispetto a quelli di Lhc. Come Lhc, anche SuperB indagherà la supersimmetria, ad esempio, ma lo farà con una tecnica diversa. Gli scontri tra elettroni in SuperB avverranno a un'energia di molto inferiore rispetto a quella tra protoni in Lhc, ma saranno così tanti da consentire ai ricercatori di "vedere" eventi rarissimi. I raggi X prodotti dai fasci di SuperB permetteranno applicazioni nel campo della biologia e della chimica e nei settori delle nanotecnologie, dei beni culturali e della diagnostica medica. Il progetto nel suo complesso richiederà un investimento di circa 400 milioni di euro, in parte provenienti dall'Italia, in parte dagli altri Paesi che fanno parte della collaborazione internazionale. Il Miur ha già stanziato una prima tranches di 19 milioni di euro e il progetto è quindi ora pronto per partire. [A. V.]



**Trappole per l'antimateria** Non vogliono portare l'antimateria a distruggere il Vaticano, come nel famoso libro *Angeli e demoni* di Dan Brown, anche perché scientificamente sarebbe impossibile, ma al Cern di Ginevra i fisici sono riusciti a intrappolarla in due tipi di esperimenti differenti. Con l'esperimento *Alpha*, grazie a magneti potentissimi, sono riusciti a intrappolare ben 38 atomi di anti-idrogeno per un paio di decimi di secondo prima che si disintegrassero. L'esperimento *Asacusa*, invece, a cui partecipa anche l'Infn, seguendo una strada diversa, ha bombardato gli antiatomi di idrogeno con microonde. Questa nuova "trappola" per l'antimateria si chiama *Cusp* e funziona grazie a una combinazione di campi magnetici che costringono antiprotoni e positroni a stare insieme per formare atomi di anti-idrogeno. Lo scopo futuro di Asacusa sarà quello di capire se gli antiatomi reagiscono in maniera diversa rispetto agli atomi o se la simmetria tra materia e antimateria resta inviolata. [C. P.]



I laboratori dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare sono aperti alle visite.

I laboratori organizzano, su richiesta e previo appuntamento, visite gratuite per scuole e vasto pubblico. La visita, della durata di tre ore circa, prevede un seminario introduttivo sulle attività dell'Infn e del laboratorio e una visita alle attività sperimentali.



Per contattare i laboratori dell'Infn:

**Laboratori Nazionali di Frascati (Lnf)**  
T + 39 06 94032423  
/ 2552 / 2643 / 2942  
sislnf@lnf.infn.it  
www.lnf.infn.it

**Laboratori Nazionali del Gran Sasso (Lngs)**  
T + 39 0862 4371  
(chiedere dell'ufficio prenotazione visite)  
visits@lngs.infn.it  
www.lngs.infn.it

**Laboratori Nazionali di Legnaro (LnL)**  
T + 39 049 8068413  
juan.esposito@lnl.infn.it  
www.lnl.infn.it

**Laboratori Nazionali del Sud (Lns)**  
T + 39 095 542296  
sislns@lns.infn.it  
www.lns.infn.it

Ulteriori informazioni per visitare i laboratori dell'Infn si trovano alla pagina

[www.infn.it/educational](http://www.infn.it/educational)

[www.infn.it](http://www.infn.it)



**[www.infn.it](http://www.infn.it)**

rivista on line  
**[www.asimmetrie.it](http://www.asimmetrie.it)**