

**SPECIALE : L'ALBA DI UNA NUOVA FISICA**

# ScienzaNuova

EDIZIONE ITALIANA DI  
NewScientist

Settembre 1998 - Anno 1 - N° 6 - Lire 7.000 - Euro 3,5

Spedizione in abbonamento postale 70% - Filiale di Trieste - ISSN 1126-5477

- **Cosa resterà dell'uomo**
- **Escher: un artista?**
- **La bella morte**
- **La vita è...**



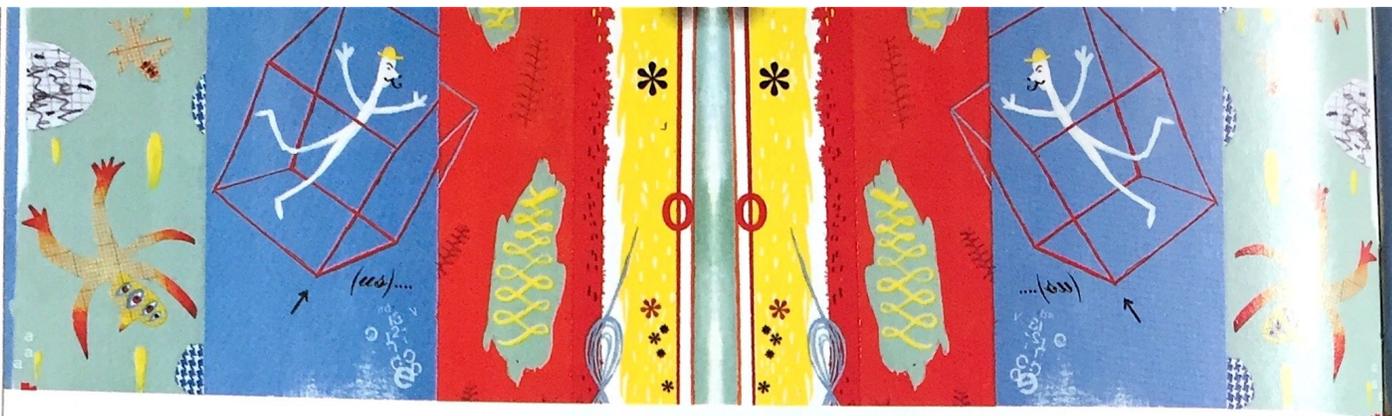
**inserto**  
**SCIENZA**  
**AL CENTRO**  
"Le metamorfosi  
della terra"  
da staccare  
e raccogliere

## Le chiavi dell' UNIVERSO

Teorie belle e impossibili • Tutti i mondi immaginabili



co  
nt  
de  
nc  
co  
i c  
sc  
nt  
tra  
to  
te  
gr  
tu  
c  
e  
to  
e  
fr  
ch  
oi  
o d  
i,  
ion  
i v  
lu  
br  
re  
st  
ra  
à  
air  
m  
ib  
ne  
ue  
ni  
e  
c  
a



# L'alba di una nuova fisica

SI AVVICINA la fine del secolo e con essa forse la fine della fisica. È questa un'idea di molti scienziati, come il Premio Nobel Sheldon L. Glashow, che paventa il crepuscolo dell'era scientifica e teme un ritorno ai secoli bui, quando al metodo scientifico si preferiva la fede nella teologia. L'iniziatore della moderna scuola teologica sarebbe il fisico Edward Witten che, con la sua teoria delle stringhe, ha sostituito il tradizionale confronto tra teoria ed esperimento con una ricerca di armonia interna alla teoria, per cui l'eleganza e la bellezza della forma matematica definiscono la verità. Valida anche se non si possono ideare esperimenti che provino direttamente la natura delle particelle come vibrazioni di corde in uno spazio multidimensionale, o l'esistenza delle supersimmetrie.

Molti scienziati criticano questa strada, per il timore che sia diretta verso l'irrazionalismo, e in questo senso parlano di fine

**È stata decretata la fine della fisica galileiana, fondata sull'esperimento o quanto meno sulla verificabilità? Il futuro è delle teorie belle e impossibili? Oppure siamo vicini alla scoperta della Teoria del Tutto, che risolverà ogni problema e decreterà la morte della fisica? Alle soglie del ventunesimo secolo Marta Cerù indaga**

dell'era scientifica: se non esiste più la possibilità di confrontare la teoria con l'esperimento, di decidere, falsificandola, se un'ipotesi è giusta o sbagliata, vuol dire che

stiamo assistendo alla morte del metodo scientifico nato con Galileo, e merito fino a oggi dei continui passi avanti nella scienza e nella fisica.

Ma non tutte le campane suonano a lutto. Una parte di fisici è convinta che i successi ottenuti in fisica delle particelle, come in altri campi, siano segnali ormai del traguardo finale. La nostra conoscenza dell'Universo è arrivata a essere ben definita da teorie quali il Modello Standard, che descrive il mondo subatomico. Il Modello ha ricevuto continue conferme sperimentali, come la scoperta dei quark o la verifica dell'unificazione elettrodebole, e nessuna misurazione si è rivelata in disaccordo con le sue previsioni. Inoltre, gli scienziati hanno trovato il modo di collegarlo all'astrofisica, ed è nata così la fisica astroparticellare che ha connesso l'infinitamente piccolo alle dimensioni di stelle e pianeti. Sembra quindi vicina la meta di una Teoria del Tutto che ri-

Illustrazioni: Sara Fanelli





sponda a ogni possibile domanda. E allora perché non esultare e dichiarare che il nuovo millennio segnerà anche la fine della fisica e dei fisici, come fa il giornalista John Horgan nel suo libro *The End of Science?*

Forse questa visione è davvero troppo ottimista, e tra i due estremi sta la fisica di questa fine millennio cui spetta di aprire ancora molte porte e superare chissà quali e quante frontiere. Infatti i problemi ancora aperti sono numerosi e qualcuno insegue la possibilità che oltre il famoso Modello Standard ci sia della nuova fisica da cercare, collegata in qualche modo alle teorie "stringhiste". Per questo vengono progettati e costruiti nuovi esperimenti, e continuano a essere potenziate le grandi macchine acceleratrici protagoniste di tanti successi, nonostante i costi sempre più elevati e i tempi di progettazione e realizzazione sempre più lunghi.

## Il Modello Standard...

Ma scendiamo nei dettagli per cercare di capire cosa ci spinge a credere che non ci sia più niente da cercare, e quali sono invece le nuove frontiere da superare. Il Modello Standard è nato negli anni Sessanta, con l'idea di

descrivere il mondo che ci circonda in termini di un certo numero di mattoni fondamentali e delle loro possibili interazioni.

Sono proprio le forze tra le particelle elementari a costruire il mondo come lo conosciamo e a dirigere i processi fisici, chimici, biologici. Senza la gravità non si formerebbero stelle e pianeti: la avvertiamo con il peso e si esercita tra corpi dotati di massa. L'interazione elettromagnetica avviene tra particelle cariche e garantisce l'esistenza della luce e degli atomi: è lei che tiene legati gli elettroni negativi attorno al nucleo. C'è poi l'interazione forte che agisce all'interno dei nuclei e garantisce l'esistenza del Sole. E infine l'interazione debole è causa della disintegrazione degli atomi radioattivi e di alcune delle reazioni nucleari che avvengono all'interno della nostra stella.

I mattoni per costruire l'edificio del nostro universo sono separati in due classi fondamentali. Ciò che le distingue è una proprietà comune a tutte le particelle, chiamata spin, che è in qualche modo analoga al momento angolare di un corpo e alla sua possibilità di ruotare su se stesso. Così, da una parte ci sono i corpuscoli di materia, i fermioni a spin semintero, dall'altra i me-

diatori della radiazione, i bosoni di gauge a spin intero. Questi vengono anche chiamati bosoni vettoriali, per distinguerli dall'unico bosone scalare, quello di Higgs, mai osservato ma previsto dalla teoria.

Le interazioni dipendono quindi da quei corpuscoli elementari che costituiscono la radiazione. Si tratta di particelle mediatrici, nel senso che hanno il compito di trasportare l'azione della forza. Più conosciuto è il fotone, la particella di luce che, come una colla tra elettroni e nuclei, media la forza elettromagnetica. Per le interazioni deboli ci sono tre bosoni vettoriali, talmente pesanti da rendere difficile il loro scambio tra due particelle, se non a distanza piccolissima. Ecco perché si parla di forze a piccolo raggio d'azione. I gluoni sono invece i mediatori delle forze forti, quelle tra quark per intenderci, e infine l'ipotetico gravitone permetterebbe l'azione della forza gravitazionale.

I fermioni costituiscono l'altra metà dei mattoni, o corpuscoli elementari di materia, e si dividono in due famiglie: i leptoni, tra cui gli elettroni interagenti a livello elettrodebole, e i quark, soggetti invece all'interazione forte.



La cornice descritta inquadra tutti gli oggetti fondamentali, con i quali costruire l'intero universo delle particelle presenti nel mondo subatomico. Quello che ha grande importanza a livello teorico, e che rappresenta lo scheletro della teoria standard, è il concetto di simmetria: tutte le particelle messaggere di interazioni, i bosoni, sono legate a particolari simmetrie presenti in natura.

### ...Elettrodebole

Un primo successo di questa visione è stata l'unificazione da cui è nato il Modello Standard Elettrodebole, cioè una teoria che ha portato a descrivere in modo consistente le forze deboli e quelle elettromagnetiche. Qualcosa di simile a quello che succede per le equazioni di Maxwell dell'elettromagnetismo: anche se gli effetti di una calamita e l'elettricità statica che percepiamo camminando su un tappeto sono molto diversi tra loro, possono essere descritti da una stessa teoria. Così come, con le stesse equazioni, si possono descrivere l'elettromagnetismo e l'interazione debole-debole, apparentemente diverse tra loro ma in realtà manifestazioni di un'unica forza. I tre scienziati che formularono questa unificazione, Sheldon L. Glashow, Steven Weinberg e Abdus Salam, ricevettero il Nobel nel 1969. Da allora, gli sforzi della ricerca si sono concen-

trati per collezionare prove che avvalorassero una tale visione unificata. Venne costruito il Lep (Large Electron Collider) al Cern di Ginevra, un'enorme macchina per accelerare gli elettroni, farli scontrare con le loro anti particelle, i positroni, e ricavare dalla loro annichilazione l'energia necessaria a produrre le nuove particelle previste dalla teoria standard.

### **Gli acceleratori sono l'equivalente di potenti microscopi, nel senso che proiettili di grande energia permettono di scandagliare la materia a distanze molto brevi**

Gli acceleratori sono l'equivalente di potenti microscopi, nel senso che proiettili di grande energia permettono di scandagliare la materia a distanze molto brevi. Se anche alle basse energie e alle grandi distanze del nostro mondo le forze debole ed elettromagnetica sembrano differenti, andando a energie sempre più alte queste differenze scompaiono. Ed è in questo senso che

gli esperimenti hanno portato conferme alla teoria dell'unificazione.

Oltre che dal Cern, altre scoperte sperimentali in questa direzione sono arrivate dal Fermilab di Chicago con l'acceleratore Tevatron, portando a verificare con una precisione notevole i principali aspetti del modello. Senza mai trovare, tra miliardi di particelle prodotte, un qualche tipo di decadimento o di fenomeno proibito.

### Qualche incongruenza

Ma tutto questo basta davvero a provare che la fisica delle particelle si avvia verso la meta finale?

Il Modello Standard è realmente così completo e soddisfacente? Molti sono i dubbi a riguardo, e molte le ragioni sia teoriche che fenomenologiche, cioè sperimentali, per cercare nuova fisica. Una prima ovvia considerazione è che, allargando il campo e pensando a settori come la cosmologia o l'astrofisica, ci accorgiamo che esistono altri modelli cosiddetti standard, da quello del Big Bang per descrivere l'origine e l'evoluzione dell'Universo a quello per la storia delle stelle e del Sole. E se cerchiamo di rivederli in virtù del modello particolare, o di allargare quest'ultimo in modo da comprenderli, saltano fuori delle incongruenze.



Per esempio, problemi che riguardano l'origine della materia oscura presente nell'Universo, un nuovo tipo di materia che non emette luce e che potrebbe non essere costituita dai mattoni fondamentali descritti dalla teoria elettrodebole. Il fatto che la maggior parte della materia nell'Universo sembra non essere composta da protoni, neutroni ed elettroni è un risultato sorprendente, dedotto negli ultimi due decenni da argomenti cosmologici e da dati astrofisici. Ma di che cosa sia fatta la materia oscura è ancora un enigma.

Un altro mistero che non trova soluzione nel Modello Standard è quello dei neutrini solari, le particelle inafferrabili che arrivano sulla Terra in quantità minore rispetto a quella prevista. Le reazioni termonucleari all'interno del Sole producono esclusivamente queste inafferrabili particelle che, secondo i calcoli, dovrebbero arrivare sulla Terra in enorme numero ogni giorno. Ma gli esperimenti ne hanno sempre catturato una quantità decisamente inferiore alle aspettative, rendendo evidente che la conoscenza dei neutrini è incompleta. Secondo la teoria standard i neutrini dovrebbero avere massa nulla. Ipotesi che sembra invece smentita dal recente risultato giapponese dell'esperimento Super-Kamiokande, che ha misurato la massa, anche se piccolissi-

ma, di almeno un tipo di neutrini. Se ciò fosse vero, i neutrini contribuirebbero alla massa dell'Universo e il fatto che quelli solari arrivino in quantità ridotta rispetto alle aspettative sarebbe ancora una volta dovuto alla loro massa.

Si tratta solo di alcuni dei problemi fenomenologici, ma altrettanti sono gli interrogativi teorici. Perché non si riescono a inglobare l'interazione forte e quella gravitazionale in una teoria del tutto unificata alle interazioni elettrodeboli? Come si spiegano l'origine e il valore delle masse delle particelle? Nel modello non si riesce a predire la massa di nessuna particella, anzi, il fatto che tutti i corpuscoli elementari siano privi di massa è alla base della coerenza della teoria. Negli anni Sessanta fu formulata l'ipotesi di modificare la teoria aggiungendovi un nuovo tipo di campo, quello di Higgs: sarebbe l'interazione con questo a fare acquistare massa alla materia, che ne nasce priva. Ma questa idea potrebbe essere verificata solo scoprendo il misterioso bosone di Higgs.

Il problema è che non esistono previsioni teoriche per la massa di questa misteriosa particella, e gli esperimenti devono procedere alla cieca per cercarla. Inoltre, il nuovo campo è il risultato di un'ipotesi *ad hoc* e di molte assunzioni teoriche. Salva la coe-

renza della teoria ma introduce i 19 parametri liberi, legati alle masse delle particelle, che vengono ricavati dalle misure sperimentali ma non si riescono a calcolare prescindendo dalla fenomenologia. Per questo motivo molti fisici delle particelle sono scettici, soprattutto perché nessuno capisce realmente che cosa dia origine a un campo di Higgs.

## Verso una grande unificazione

C'è poi un altro problema, legato all'idea di unificazione. La forza di ogni interazione tra due particelle dipende dalla loro distanza, attraverso un parametro che viene chiamato costante di accoppiamento. Così, per esempio, a distanze atomiche l'interazione elettromagnetica prevale su quella debole, che comincia a farsi sentire solo a distanze piccolissime.

Dato che la teoria standard è di tipo matematico, ci si può chiedere cosa vorrebbe dire fare esperimenti cercando di diminuire il più possibile le distanze. Ma questo, in termini pratici, vuol dire poter disporre di acceleratori di particelle con energie sempre più elevate. Si è detto infatti che i collisionatori sono come microscopi, il cui potere di risoluzione, cioè la minima distanza distinguibile, dipende dalla loro massima energia.



Pur non avendo mezzi tecnici per raggiungere l'energia necessaria a far luce su questi aspetti, si possono calcolare per via matematica le predizioni della teoria standard. Si può cioè studiare la variazione della costante di accoppiamento delle tre interazioni (escludiamo per ora quella gravitazionale) al variare della distanza o dell'energia. Ne risulta che diminuendo le distanze, le tre forze diventano sempre più simili tra loro, fino a "unificarsi". Sembrano essere, quindi, manifestazioni diverse di una sola forza, come succede per l'elettricità e il magnetismo o per le interazioni elettrodeboli.

In termini matematici si dice che per dati valori dell'energia, molto alti e irraggiungibili con qualsiasi acceleratore reale, le tre curve che rappresentano l'andamento delle costanti di accoppiamento al variare dell'energia tendono a incontrarsi. Ecco il senso dell'unificazione, che sarebbe perfetta se solo l'incontro avvenisse in un punto, anziché in una regione.

D'altra parte, la forza gravitazionale resta esclusa, e c'è un'incongruenza dovuta all'enorme differenza di scala tra la sua costante di accoppiamento e quelle di tutte le altre forze. Non si spiega il salto di energia di circa 17 ordini di grandezza tra la scala delle interazioni elettrodeboli e quella delle gravitazionali.

Un altro problema aperto della teoria è legato alle masse dei fermioni e dei bosoni vettoriali, messaggeri delle interazioni, che hanno valori bassi e tendono a rimanere alla scala dell'energia elettrodebole (circa 100 GeV). Si dice che sono protette da simmetrie e vincolate a non assumere valori troppo elevati. Questo non succede per la massa del bosone di Higgs, che nella teoria standard può arrivare ad assumere valori elevatissimi, e quindi irraggiungibili da qualsiasi acceleratore presente o futuro. Per questa particella non c'è protezione, e il fatto di non sapere se sia possibile rivelarla rappresenta un grave dilemma teorico.

## Le supersimmetrie

A sanare questi problemi sono intervenute le supersimmetrie, protagoniste della nuova fisica, dagli anni Ottanta in poi. E molti scienziati si attendono notevoli risultati dalla teoria standard supersimmetrica. Che, oltre a incorporare la fisica di Higgs, concilia la scala energetica del misterioso bosone con quella di tutte le altre particelle conosciute, sia bosoni che fermioni. Unifica i quark, i leptoni e le forze del modello standard e, infine, ha una connessione con la gravità.

L'idea di base è ipotizzare una simmetria tra fermioni e bosoni, cioè la possibilità che queste particelle siano interscambiabili, senza che la teoria perda di senso. Si è detto che queste due famiglie di particelle differiscono sostanzialmente per la proprietà dello spin che in un caso è semintero e nell'altro intero. Dal punto di vista del comportamento, la differenza è sostanziale, in un mondo in cui le regole sono dettate dalla meccanica quantistica. Infatti, per esempio, due bosoni possono occupare lo stesso posto nello stesso tempo, mentre questo non è permesso a due fermioni (caratteristica nota come Principio di esclusione di Pauli).

Nel Modello Standard le particelle materiali sono fermioni, mentre i corpuscoli che trasmettono le interazioni sono bosoni. La richiesta della supersimmetria è che le leggi della natura siano simmetriche per lo scambio di un fermione con un bosone: in pratica ogni bosone della teoria standard deve avere un superpartner fermione e viceversa. Le coppie di particelle sono tra loro identiche, tranne che per il valore dello spin.

Il vantaggio è aver unificato la materia e la radiazione, ma non solo questo. Si realizza infatti un meccanismo di protezione per la massa del bosone di Higgs, che rimane vincolata ad assumere valori bassi e raggiungibili dagli acceleratori più moderni. Così, anche se non è ancora possibile predire esattamente il valore della massa dell'Higgs, i fisici hanno ora per lo meno un limite superiore e sono in grado di progettare macchine in grado di provare la sua esistenza. Se con gli acceleratori di prossima generazione non si troverà questa misteriosa particella, solo allora si potrà mettere in crisi tutta la teoria. Questa nuova fisica di Higgs, basata sulla supersimmetria, sembra meno il frutto di ipotesi *ad hoc* perché si ricava naturalmente nell'ambito del modello.

Infine, il nuovo tipo di particelle previste dalle supersimmetrie, le compagne degli ordinari costituenti della materia chiamate *Susy*, portano a una reale unificazione. Unendo al Modello Standard, si trova infatti che le costanti di accoppiamento delle interazioni cambiano il loro andamento al variare dell'energia, e le tre curve che lo rappresentano si incontrano davvero in un punto (anziché in una regione).

## Una Teoria del Tutto

Potrebbero essere questi successi delle teorie supersimmetriche a far presagire la fine della fisica. Ma finora è rimasta esclusa la gravità, ed è proprio cercando di inclu-



derla per arrivare a una Teoria del Tutto che emergono nuovi problemi. La supergravità di una *Theory of Everything* (ToE) presenta delle inconsistenze dal punto di vista matematico, perché, nel fare un certo tipo di conti, emergono degli infiniti che non si riescono a eliminare. Siamo in una dimensione concettuale che ha a che fare con la difficoltà di formulare le regole per la teoria. Pur avendo una teoria ben congegnata, nel momento in cui la si usa per calcolare alcune proprietà osservabili, e quindi misurabili sperimentalmente, emergono soluzioni infinitamente grandi, anziché valori numerici sensati.

Un analogo problema si era verificato negli anni Trenta, quando si arrivò per la prima volta a formulare una teoria dell'elettrodinamica quantistica, cioè una teoria quantistico-relativistica per l'elettromagnetismo. In quel caso i fisici teorici trovarono un modo sistematico per eliminare le parti infinite e il vero risultato numerico con un processo che fu chiamato rinormalizzazione della teoria. Ma con la supergravità non c'è rinormalizzazione che tenga.



## Le teorie di stringa

Eppure la via per aggiustare queste inconsistenze è venuta dalle teorie di stringa, un nuovo approccio ambizioso per comprendere il mondo naturale, emerso nel 1984 grazie al già citato Witten. Secondo il famoso fisico, anche la grande unificazione rappresenta solo un passo sulla strada dello stesso programma di ricerca in corso da almeno tre secoli. Mentre la nuova metodologia, pur continuando ad avere l'unificazione delle tre forze con la gravità come uno degli obiettivi, va oltre. Quello che si propone è di spiegare perché esistono quark e leptoni e non altre particelle, e mostrare come abbiano origine spazio e tempo o perché ci siano tre dimensioni dello spazio. La speranza è non avere più quantità indeterminate, come masse, forze, o altri numeri.

Formulare questa nuova teoria significherebbe aver terminato la ricerca delle leggi che sottostanno alla natura: spiegherebbe infatti la struttura su cui sono costruiti tutti i livelli superiori, e per questo motivo viene chiamata *Teoria del Tutto*.

La supersimmetria viene naturalmente inclusa in una Teoria del Tutto e il senso di questa nuova simmetria sarebbe poter trasformare le coordinate di spazio e tempo in modo che le leggi della fisica siano le stesse per ogni osservatore. Dato che la teoria generale della relatività di Einstein deriva proprio da questa condizione, la supersimmetria implica la gravità. Anzi la supergravità, in cui un bosone di spin due, il gravitone, trasmette le interazioni gravitazionali e ha per partner il fermione gravitino.

Gli oggetti con cui hanno a che fare i fisici non sono più le particelle, che risultano essere invece vibrazioni di corde o superstringhe in uno spazio multidimensionale. Alla base di tutto quindi, non più corpuscoli puntiformi ma corde, anche se questa distinzione si manifesta solo a distanze talmente piccole e quindi a energie così alte da risultare irraggiungibili con qualsiasi acceleratore. Proprio questa impossibilità di trovare delle verifiche sperimentali dirette ha indotto alcuni a sostenere che la teoria non può essere verificata, e che i fisici teorici stanno abbandonando la scienza per la filosofia o per il misticismo.

## Riduzionisti estremi

Agli occhi di molti sembra essere davvero questa la strada buona per cercare una nuova fisica, solo che non è l'unica. Non tutti credono che si debba per forza perseguire l'obiettivo della grande unificazione e molti scienziati scelgono l'alternativa del riduzionismo estremo.

Se il problema da risolvere è quello di mantenere a una scala di bassa energia la massa del bosone scalare di Higgs, si può pensare di fare una teoria in cui questo bosone non esista, nel senso di una particella fondamentale, ma sia in realtà composto come un condensato di fermioni tenuti assieme da una nuova forza.

In realtà la questione è più sottile e riguarda un processo che i fisici chiamano rottura dinamica della simmetria. Supponiamo di partire da una situazione in cui per certi valori dell'energia e a piccole distanze c'è una simmetria, che però non si mantiene quando l'energia diminuisce, cioè a distanze più grandi, e viene rotta. Un po' quello che succede con l'unificazione elettrodebole: ad alte energie le interazioni deboli ed elettromagnetiche sono manifestazioni di un'unica forza, ma sembrano diversissime tra loro a basse energie.

Quindi tutto dipende dalla scala di energia da cui guardiamo. Non si richiede una

teoria unificata, né che i bosoni di Higgs siano particelle fondamentali, e questo apre la via della "compositezza". Tutto è un aggregato di corpuscoli elementari: a una certa energia vediamo le molecole, poi gli atomi, poi i nuclei, poi gli elettroni e infine i quark. Ma niente ci vieta di ipotizzare che aumentando l'energia si trovi che anche i quark o gli elettroni sono composti. E così via, come aprendo infinite scatole cinesi.

## Dov'è l'uomo...

La ricerca di una nuova fisica oltre il Modello Standard procede quindi su due strade opposte che corrispondono a diverse filosofie. Possiamo pensare di conoscere tutte le interazioni e di aspirare a raggiungere una visione unificata attraverso le teorie di stringa che metteranno in evidenza la presenza di una sola forza dalle diverse manifestazioni. Oppure possiamo accettare il fatto di non avere una visione completa, ma di vedere le quattro interazioni fondamentali e i fermioni, solo perché siamo a una data scala di energia. Cambiando scala potremmo trovare nuovi strati con sconosciuti livelli di compositezza, e forse mai osservate, senza raggiungere mai una visione unificata.

Finora non è emerso il lato umano della questione. Di fronte a queste problematiche e alle prospettive della ricerca, la figura del fisico che riesce a unire gli aspetti teorici e sperimentali del suo lavoro sembra essere destinata a scomparire. O forse è già scomparsa da tempo. I gruppi di ricerca sono sempre più allargati e si occupano di progetti che in media possono durare dieci anni o più. Tutto questo finalizzato a obiettivi che sono dominio di pochi, cosicché chi si occupa degli esperimenti sente spesso la frustrazione di controllare solo un tassello di un puzzle gigantesco, senza poter avere una visione globale. Sia nel campo della fenomenologia, tra chi lavora agli esperimenti con le grandi macchine, sia tra i seguaci di Witten che eseguono conti completamente slegati dalle applicazioni.

E forse è proprio questo il versante dove si intravede la fine di qualcosa e l'inizio di nuovi atteggiamenti.

Da una parte, lo sforzo di tornare a esperimenti di scala ridotta, anche in fisica delle particelle, dall'altra il tentativo di inventare nuovi metodi, basati su concetti anche semplici, per trattare problemi vecchi da un nuovo punto di vista.

**Marta Cerù**, fisico e giornalista scientifico freelance, lavora a Roma

he  
te  
il  
di  
to  
ne  
to

**F**  
il

Il  
D  
ge  
ar  
na  
ge  
re  
fo  
til  
di  
da

**S**  
in

La  
rio  
(ht  
un:  
avv  
del  
rat  
di  
qua  
roic  
ria.  
vag  
e in  
lite

«A  
pe

Si t  
non  
«Ar  
zata  
per  
Sacc  
strik  
re in  
me  
men  
venz  
and

**Oa**  
pri

Il p  
cazi  
men  
filer  
tato  
per c  
frutt  
rilas  
tuito  
l'Isti  
logie  
Infor

**Ris**