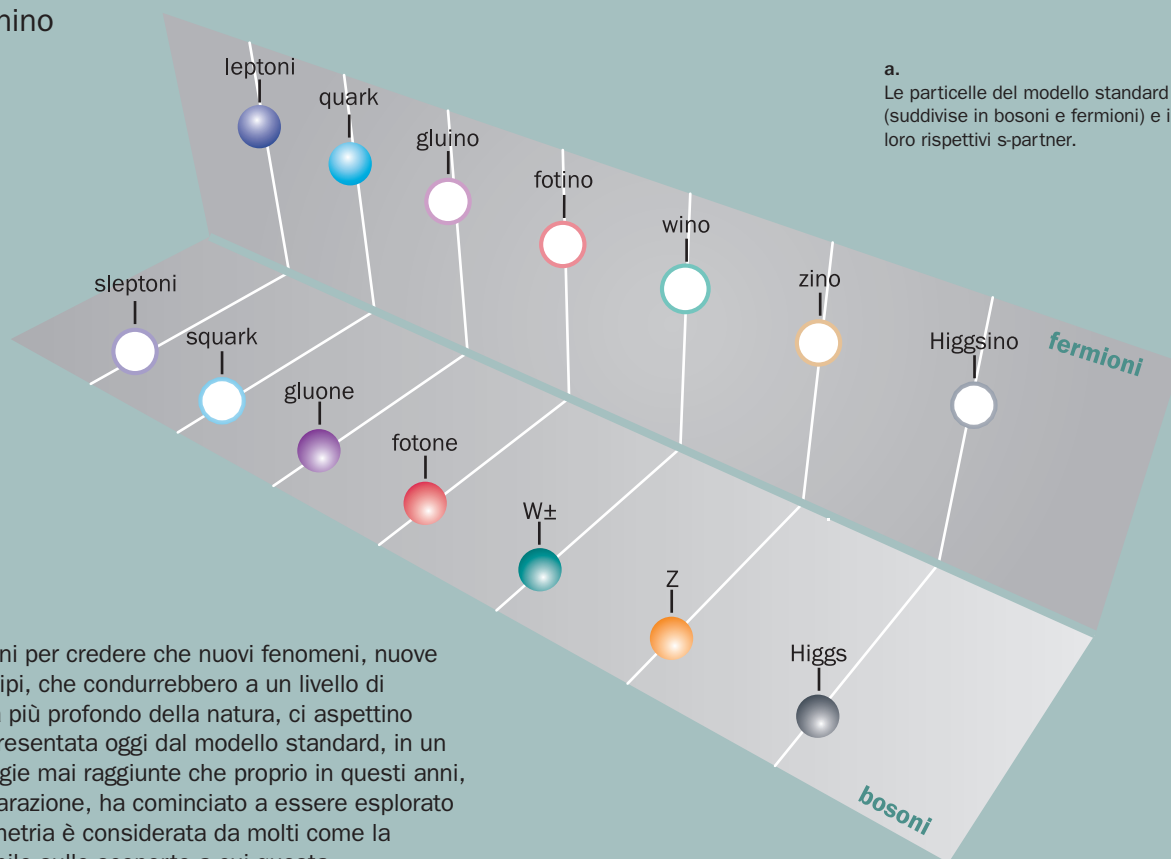


# Il mondo con la esse davanti

## Estensioni supersimmetriche del modello standard

di Andrea Romanino



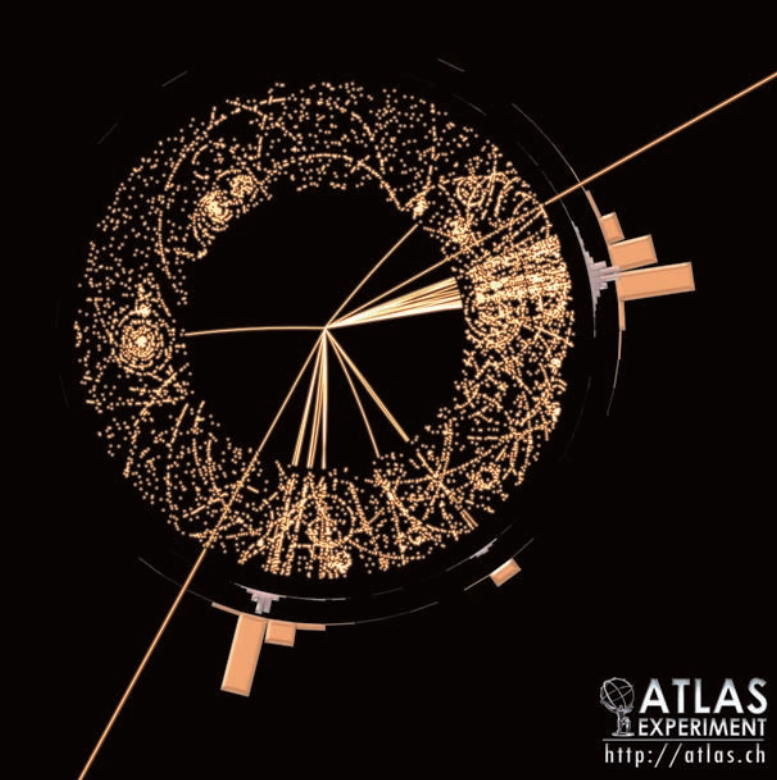
a.  
Le particelle del modello standard (suddivise in bosoni e fermioni) e i loro rispettivi s-partner.

Ci sono fondate ragioni per credere che nuovi fenomeni, nuove particelle, nuovi principi, che condurrebbero a un livello di comprensione ancora più profondo della natura, ci aspettino oltre la frontiera rappresentata oggi dal modello standard, in un territorio fatto di energie mai raggiunte che proprio in questi anni, dopo decenni di preparazione, ha cominciato a essere esplorato da Lhc. La supersimmetria è considerata da molti come la congettura più plausibile sulle scoperte a cui questa esplorazione potrebbe portare e una delle idee più promettenti per la nuova fisica oltre il modello standard.

Il concetto di simmetria ha svolto un ruolo cruciale nello sviluppo della fisica fondamentale. Basti pensare alla simmetria dello spaziotempo alla base della teoria della relatività (vd. in *Asimmetrie* n. 11 p. 4, ndr), all'interpretazione delle forze fondamentali in termini di gruppi di simmetria (vd. in *Asimmetrie* n. 16 p. 11, ndr) o all'idea di rottura spontanea di simmetria che sta alla base della scoperta del bosone di Higgs (vd. in *Asimmetrie* n. 16 p. 27, ndr): la natura sembra davvero mostrare una predilezione per la simmetria. La supersimmetria è una simmetria di un nuovo tipo. A differenza delle simmetrie note, mette in relazione particelle con caratteristiche e comportamenti molto diversi, i bosoni e i fermioni. Sono esempi di fermioni le particelle che costituiscono la materia conosciuta, esempi di bosoni la particella di Higgs e quelle che trasmettono le forze (fotoni, gluoni e bosoni  $W^\pm$  e Z) e si differenziano per il momento angolare (spin), semi-intero i primi, intero i secondi. Se questa simmetria esistesse in natura, ad ogni bosone corrisponderebbe un fermione ancora sconosciuto e viceversa (vd. fig. a): i partner supersimmetrici o s-partner. Il partner supersimmetrico di un

fermione viene denominato antepoendo una "s" al nome del fermione corrispondente, mentre il partner supersimmetrico di un bosone viene chiamato con il nome del bosone corrispondente più il suffisso "ino". Così, ad esempio, il partner supersimmetrico dell'elettrone viene chiamato *seletrone*, il partner del quark top *squark stop* e quello del bosone di Higgs *Higgsino*. La scoperta dei partner supersimmetrici in Lhc rappresenterebbe una clamorosa conferma della validità della supersimmetria.

Le ragioni per cui crediamo che questo potrebbe accadere sono molteplici. Il problema della naturalezza, o della gerarchia, richiede l'esistenza di nuove particelle, presumibilmente visibili in Lhc, che spieghino perché la scala di energie che caratterizza il modello standard (100 GeV) resista alla pressione di enormi correzioni, che la vorrebbero ancora, di molto, più grande. Le particelle previste dalla supersimmetria rappresenterebbero una spiegazione particolarmente convincente. Nel suo insieme, poi, la supersimmetria è una teoria internamente coerente e tecnicamente particolarmente solida, che in linea di principio consente di estrapolare il comportamento delle leggi di natura



b.  
 Simulazione di produzione di particelle supersimmetriche in Lhc, come sarebbe vista da uno dei rivelatori (Atlas). Le linee rappresentano tracce lasciate nel rivelatore dalle particelle prodotte nell'evento, in particolare quelle derivanti dalla immediata disintegrazione delle particelle supersimmetriche.

a energie fino alla scala di Planck ( $10^{19}$  GeV). La soluzione di alcuni dei problemi che richiedono una nuova fisica oltre il modello standard, come la predominanza della materia sull'antimateria nell'universo conosciuto o l'origine della massa dei neutrini, potrebbero risiedere a quelle energie, non lontano da una teoria unificata delle forze conosciute. Inoltre, le predizioni della supersimmetria combaciano perfettamente con quelle delle teorie di grande unificazione, che prevedono che almeno tre (la forza elettromagnetica, debole e forte) delle quattro forze fondamentali della natura non siano altro che aspetti diversi di una sola forza unificata. Quest'ultima idea è particolarmente seducente non solo per eleganza e livello di comprensione profonda che consente in termini, ancora, di simmetrie, ma anche perché permette di capire in un sol colpo le caratteristiche quantitative delle forze tra le particelle descritte dal modello standard, un risultato che è difficile immaginare essere casuale. E che trova, come già detto, piena conferma nella supersimmetria, in cui l'intensità delle tre interazioni del modello standard può essere estrapolata e risulta essere precisamente la stessa all'energia della scala della grande unificazione, ossia dell'ordine di  $10^{16}$  GeV, un altro risultato difficile da ignorare. Infine, un aspetto molto apprezzato della supersimmetria è la possibilità di spiegare la natura della materia oscura (vd. p. 24, ndr). La coerenza sperimentale della teoria avrebbe infatti come conseguenza la stabilità di uno dei partner supersimmetrici, che in tal caso pervaderebbe il nostro universo e potrebbe costituire, appunto, la materia oscura.

Vediamo dunque che le motivazioni a favore della supersimmetria sono molteplici e convincenti. Non sorprende che, dopo la scoperta del bosone dei Higgs, la supersimmetria sia finita in cima alla lista dei "ricercati" dai fisici delle particelle. Va detto che il primo periodo di funzionamento di Lhc (dal 2008 al 2013) non ha portato alla cattura di particelle supersimmetriche né di altri candidati alla soluzione del

problema della naturalezza. Questo ha portato alcuni teorici a speculare sulla fondatezza dell'argomento di naturalezza alla base della fiducia nella scoperta di nuove particelle in Lhc. Sebbene questa considerazione sia prematura, è già chiaro che, se l'argomento di naturalezza un giorno venisse a cadere, ci ritroveremmo di fronte a un paradosso, la cui spiegazione diventerebbe il tema centrale della nostra ricerca. La sua soluzione potrebbe richiedere un cambio radicale di paradigma, l'utilizzo, ad esempio, di considerazioni antropiche rese possibili dal *multiverso* ipotizzato da alcuni fisici teorici (secondo cui il nostro è solo uno dei molti universi paralleli possibili, vd. anche approfondimento in Asimmetrie n. 14 p. 24). Nonostante ciò, la teoria della supersimmetria potrebbe avere lo stesso un ruolo importante. Potrebbe, infatti, permettere di confermare l'unificazione delle forze e di spiegare l'origine della materia oscura. Sarebbe comunque compatibile con altre idee convincenti sulla fisica oltre il modello standard, riguardanti ad esempio l'origine delle masse dei neutrini. E potrebbe condurre, sulla base, questa volta, del successo sul fronte della materia oscura e dell'unificazione, a possibili segnali negli acceleratori futuri.

#### Biografia

**Andrea Romanino** è professore ordinario alla Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati di Trieste (Sissa). Ha condotto ricerche alla Scuola Normale Superiore di Pisa, all'Università di Oxford, al Cern di Ginevra e al Fermilab di Chicago.

#### Link sul web

<http://particleadventure.org/supersymmetry.html>

<http://home.web.cern.ch/about/physics/supersymmetry>