

Ai confini della realtà

Fisici all' esplorazione degli estremi

di Massimo Pietroni



“Alla frontiera della conoscenza, alla frontiera della tecnologia”: potrebbe essere questo lo slogan per promuovere le ricerche dei fisici. L’aspirazione a una comprensione sempre più profonda della natura e delle sue leggi, infatti, spinge i ricercatori a esplorare le regioni estreme dello spazio e del tempo: le distanze più piccole e le energie più elevate, le epoche più vicine al Big Bang e più lontane da noi, i fenomeni più rari. La localizzazione di questi estremi non è data una volta per tutte, ma muta e si ridefinisce di continuo, sulla spinta dello sviluppo tecnologico e del raffinamento delle strategie della ricerca.

Questa rincorsa continua punta a esplorare, superandoli, gli estremi della tecnologia. È quello che avviene per esempio al Cern, a Ginevra, dove si trova l’acceleratore di particelle in grado di produrre le collisioni più energetiche mai realizzate, il Large Hadron Collider (Lhc). Oppure, nei laboratori per la

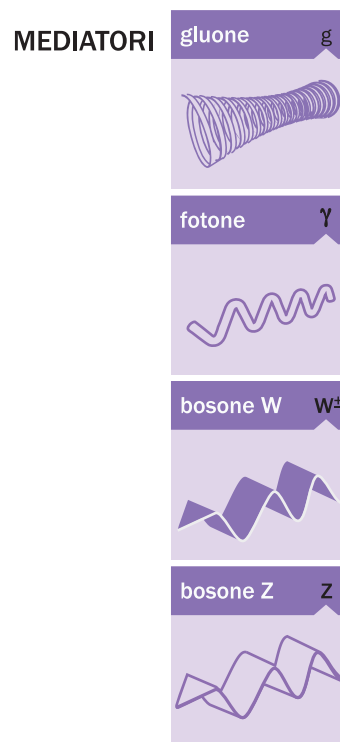
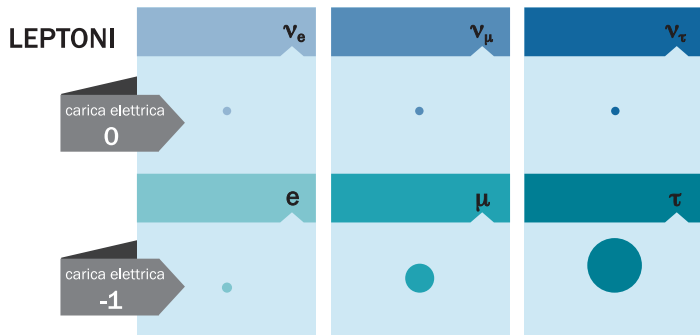
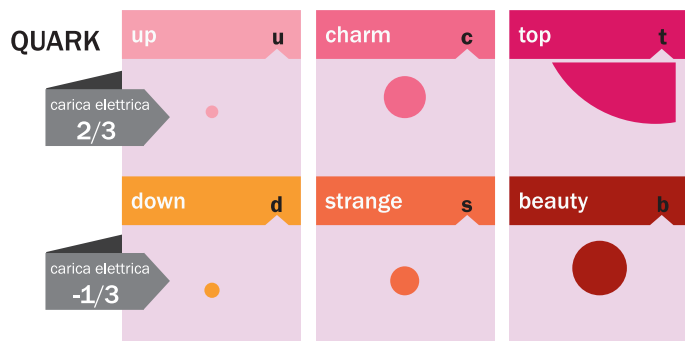
ricerca delle onde gravitazionali (le perturbazioni dello spaziotempo predette dalla relatività generale di Einstein, ancora mai osservate direttamente) dove si riescono a monitorare movimenti infinitesimali di apparati sperimentali delle dimensioni di diversi chilometri (vd. p. 30).

Spesso, la ricerca dell’estremo tecnologico è accompagnata dalla necessità di lavorare in condizioni estreme anche dal punto di vista geografico e logistico. Per esempio, la necessità di ridurre al minimo i fattori di disturbo esterno per osservare segnali sempre più tenui (come quelli degli elusivi neutrini) spinge a realizzare gli esperimenti sotto terra, come avviene al laboratorio del Gran Sasso dell’Infn, oppure in cima alle montagne o nello spazio (vd. p. 10). In altri casi, ad esempio per studiare i raggi cosmici di altissima energia, si sfruttano risorse naturali (masse d’acqua o di ghiaccio, o l’atmosfera stessa) come rivelatori

a.

L’esperimento IceCube, che si trova a meno di un chilometro dal Polo Sud, è il più grande rivelatore di neutrini esistente (vd. p. 17). I neutrini vengono rivelati visualizzando le tracce lasciate in un volume di un chilometro cubo di ghiaccio.





di particelle, e a questo fine si costruiscono esperimenti migliaia di metri sotto la superficie del mare, sotto i ghiacci dell'Antartide o nella pampa argentina (vd. pp. 11 e 15).

La progettazione di esperimenti per esplorare i confini dello spazio e del tempo non procede alla cieca, ma è guidata da una sorta di "mappa delle conoscenze", che fornisce punti di riferimento stabili e al tempo stesso indica le direzioni più promettenti. Questa mappa, oggi, è data dall'unione tra due teorie di grande successo, tanto da essere chiamate "standard": il *modello standard delle particelle elementari* e il *modello cosmologico standard*. Il primo descrive le interazioni tra particelle elementari, il secondo, l'universo a grande scala. Entrambi i modelli presentano alcuni aspetti ben consolidati, che possiamo paragonare alle regioni meglio conosciute di un certo territorio, e altri conosciuti con precisione inferiore o ancora in attesa di una conferma sperimentale, che corrispondono ai territori ancora poco esplorati, per cui la mappa è poco dettagliata, incompleta o, forse, persino sbagliata.

Le regioni note della mappa delle conoscenze sono di fondamentale importanza: stabiliscono punti di riferimento affidabili per orientarsi nell'esplorazione, sia sperimentale che teorica, delle regioni meno conosciute, ed è per questo che lo sforzo di studiarle sempre meglio è una componente fondamentale dell'impresa scientifica.

Così, nel caso del modello standard delle particelle, i settori noti con gran precisione sono quelli relativi all'elettromagnetismo e alle interazioni deboli fra quark e leptoni, che vengono descritti in modo unificato tramite la teoria *elettrodebole*. Per fare un esempio, questa teoria consente di calcolare alcune grandezze fisiche con una precisione fino a una parte su

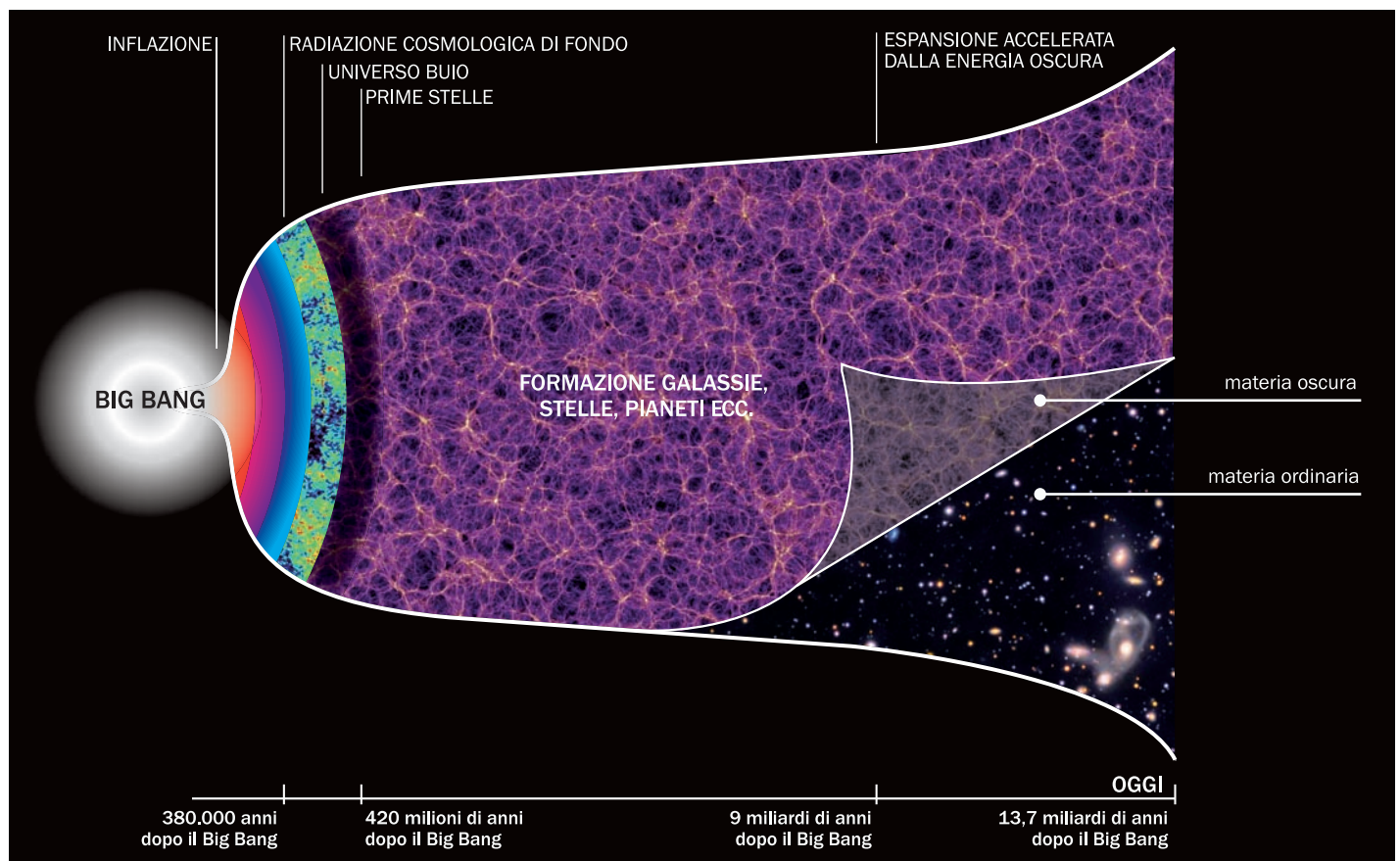
b.
I costituenti fondamentali della materia secondo il modello standard delle particelle.

un miliardo, e di confrontarle con successo con esperimenti allo stesso livello di accuratezza. Questo dimostra che la struttura base della teoria, che si fonda sulla meccanica quantistica e sulla relatività ristretta, è compresa molto bene.

Nel caso del modello standard cosmologico, la radiazione cosmica di fondo, recentemente misurata con altissima precisione dal satellite Planck, ci fornisce informazioni estremamente dettagliate sullo stato dell'universo 380.000 anni dopo il Big Bang (vd. p. 33). Ad oggi, le osservazioni sono in accordo con l'ipotesi fondativa del modello, ossia quella di un universo governato dalla teoria della relatività generale di Einstein su tutte le scale osservabili e che è evoluto, attraverso l'espansione, da uno stato molto caldo e denso fino allo stato attuale. Un altro pilastro di questo modello è la *nucleosintesi primordiale* (vd. fig. a p. 20), ossia la spiegazione del meccanismo attraverso il quale, un secondo dopo il Big Bang, si sono formati i primi nuclei leggeri (deuterio, trizio, elio, litio).

Per accedere alle regioni ignote della mappa delle conoscenze si fa ricorso a diverse strategie. Una di queste si muove nella direzione delle "energie elevatissime". Particelle ad altissima energia possono essere studiate sfruttando gli acceleratori di particelle naturali presenti nell'universo, come quelli che danno origine ai raggi cosmici e ai *lampi di raggi gamma* (vd. pp. 11 e 15). Sulla Terra, invece, la frontiera è oggi l'acceleratore di protoni Lhc. Il bosone di Higgs, appena trovato, ha aperto la porta alla comprensione diretta del meccanismo attraverso cui vengono date le masse alle particelle elementari (vd. Asimmetrie n. 14).

c. Rappresentazione schematica dell'evoluzione dell'universo secondo il modello standard cosmologico. Nel lembo superiore è rappresentata la distribuzione di materia oscura ottenuta da simulazioni al computer. I primi minuti dell'universo sono raffigurati in fig. a p. 20.



Questo settore della teoria, però, presenta numerosi “parametri liberi”, ossia quantità che non vengono spiegate dal modello ma che possono, al momento, essere conosciute solo per via sperimentale. Di conseguenza, dobbiamo ancora capire, ad esempio, perché le masse di leptoni e quark sono così diverse tra loro. Inoltre il valore della massa dello stesso bosone di Higgs è molto probabilmente legato a qualche struttura fisica ancora non nota, operativa a energie più elevate. Le interazioni forti, che insieme a quelle elettrodeboli vengono descritte dal modello standard delle particelle, sono responsabili della formazione di protoni e neutroni a partire dai quark. Questo processo, ancora poco noto, viene studiato dall’esperimento Alice, sempre in Lhc, e consente di esaminare la materia in condizioni simili a quelle prossime al Big Bang, quando l’universo passò da uno stato in cui i quark erano liberi allo stato attuale, in cui questi sono “confinati” all’interno di protoni e neutroni (vd. p. 20).

Ma a volte, per trovare il nuovo non bisogna necessariamente spingersi molto lontano. Esplorando con grande accuratezza territori noti possiamo trovare un indizio poco appariscente, ma che ci conduce alla scoperta di una città sotterranea, proprio sotto i nostri piedi (vd. approfondimento p. 24). Questa

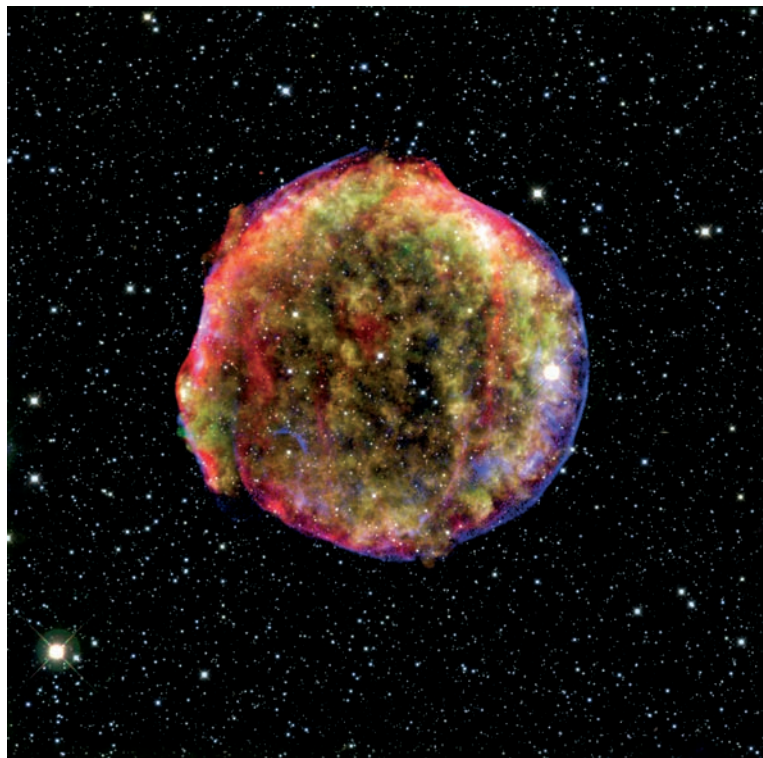
strategia è alla base delle ricerche che studiano gli “eventi rari”. Nel modello standard alcuni processi fisici sono del tutto proibiti o hanno bassissime probabilità di verificarsi. Se questi processi vengono osservati con frequenza più alta di quella prevista dal modello, significa che esiste una nuova struttura fisica responsabile di questo eccesso di eventi anomali. In questo caso, la nuova fisica viene messa in luce senza dover raggiungere le energie elevatissime necessarie alla produzione di nuove particelle.

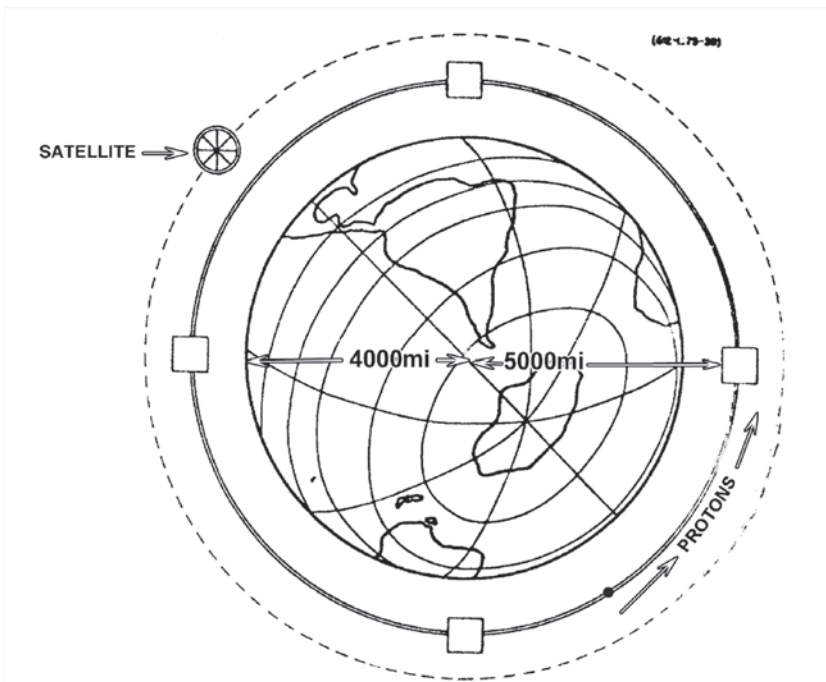
Questa strategia è quella seguita, per esempio, nel recente studio del decadimento del mesone B_s in due muoni, un evento rarissimo per il modello standard, e nella ricerca del decadimento di un muone in un elettrone e in un fotone (vd. p. 23) o del decadimento doppio beta senza neutrini (vd. p. 27), proibiti dal modello standard delle particelle.

Informazioni preziose ci verranno poi fornite osservando il cosmo, forse dalle onde gravitazionali prodotte da eventi astrofisici estremi, come l’esplosione di una supernova che ha portato alla formazione di una stella di neutroni o di un buco nero (vd. Asimmetrie n. 14 p. 33), o da quelle prodotte ancora prima, nell’epoca più misteriosa dell’evoluzione dell’universo, cioè l’*inflazione* (vd. p. 37).

d.

Il resto dell’esplosione della supernova di Tycho Brahe (immagine in falsi colori composta da misure a raggi X e raggi infrarossi).





e.
L'acceleratore "definitivo" illustrato per gioco da Enrico Fermi all'assemblea della American Physical Society nel 1954. Il fascio di protoni circola in un anello in orbita a 1600 chilometri di quota.

Queste onde gravitazionali primordiali potrebbero essere rivelate da analisi ancora più dettagliate della radiazione cosmica di fondo. Quelli descritti fino ad ora sono solo alcuni dei tentativi già in atto di allargare e dettagliare sempre meglio la nostra mappa delle conoscenze. La regione più interessante di questa mappa è quella all'intersezione tra il modello standard delle particelle e quello cosmologico. Lì si trovano alcune delle domande fondamentali della fisica odierna: che cosa c'è oltre i modelli standard? che cos'è la materia oscura (vd. Asimmetrie n. 4)? quale principio fisico governa il valore delle masse delle particelle? che cos'è l'energia oscura? perché l'antimateria è presente nell'universo solo in quantità infinitesime? La risposta ad alcune di queste domande potrà venire nei prossimi anni, da Lhc o da altri esperimenti sulla terra o nello spazio. Per altre, forse, la vera risposta si trova in regioni della mappa così lontane da essere ancora del

tutto ignote, e per cui esistono solo abbozzi più o meno fantasiosi. Però le frontiere si spostano di continuo e questi estremi cambiano con il passare del tempo (vd. p. 38). Le "alte" energie dei primi acceleratori con cui Enrico Fermi studiava le forze nucleari sono milioni di volte più basse delle alte energie raggiunte a Lhc. In una delle sue ultime conferenze Fermi immaginò l'acceleratore definitivo, un anello attorno alla Terra (vd. fig. e). In realtà, l'energia che aveva in mente di raggiungere è di poco superiore a quella che Lhc permette di ottenere oggi con "soli" 27 chilometri di circonferenza. Scoraggiarsi di fronte a queste imprese non è quindi una buona strategia, perché l'esperienza insegna che ostacoli apparentemente insormontabili possono essere superati, o aggirati, spesso in modo imprevedibile a priori, grazie allo sviluppo di nuove soluzioni tecniche e alla comparsa sulla scena della ricerca di nuove menti brillanti e avventurose.

Biografia

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

<http://www.vialattea.net/cosmo/>

<http://preposterousuniverse.com/writings/cosmologyprimer/index.html>

<http://dspace.library.cornell.edu/retrieve/79/enrico>