

[as] La scienza di LHC

Che cos'è il Large Hadron Collider

È la più potente macchina al mondo. È un acceleratore di particelle al cui interno sono accelerati protoni ad altissima velocità, che vengono poi fatti scontrare fra di loro. Dagli scontri nascono moltissime particelle che vengono registrate dai rivelatori e poi analizzate dai fisici.

Come è fatto

Gli esperimenti saranno condotti lungo il percorso di un tunnel circolare sotterraneo situato a 100 m di profondità.

Lhc è formato da circa 2.000 magneti superconduttivi mantenuti a una temperatura di circa -271°C .

Gli esperimenti

Lhc-b studierà come si sia creata la asimmetria tra materia e antimateria.

Atlas e *Cms* hanno come scopo principale la verifica dell'esistenza del bosone di Higgs e della Supersimmetria.

Alice: i fisici osserveranno un plasma di quark e gluoni, cioè uno stato della materia esistito subito dopo il Big Bang.

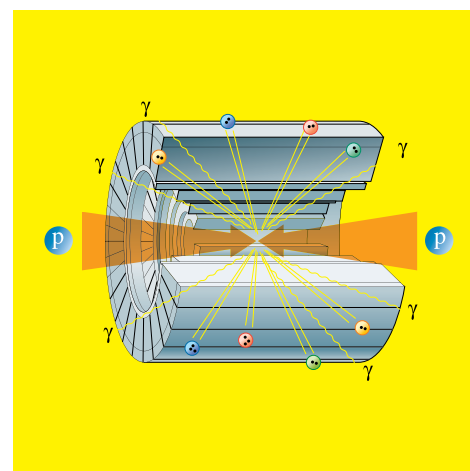
Gli obiettivi di Lhc

La massa

Con questi esperimenti i fisici cercheranno di capire qual'è l'origine della massa, una proprietà della materia che ci permette di esistere.

Il bosone di Higgs

La sfida di Lhc è quindi vedere per la prima volta, grazie all'enorme energia con cui fa scontrare fra loro gruppi di protoni, il bosone di Higgs, la particella in grado di spiegare come mai esiste la massa.



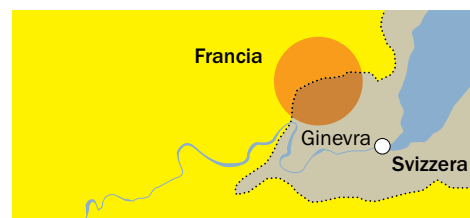
I fasci di protoni si incrociano 40 milioni di volte al secondo. A ogni incrocio, avvengono in media 20 collisioni protone-protone per un totale di 800 milioni di collisioni per secondo. Ci si aspetta di vedere il bosone di Higgs una volta ogni 10.000.000.000.000 di collisioni, quindi non più di una volta al giorno.

Il contributo di Infn

L'Infn coordina i circa 600 fisici italiani che lavorano a Lhc e ha contribuito in modo rilevante alla progettazione e realizzazione dell'acceleratore e degli esperimenti.

Dove si trova

Al Cern di Ginevra, al confine tra Francia e Svizzera.



[as] lavori in corso

Il punto su LHC

di Walter Scandale

Cern, dipartimento di Tecnologie
per gli Acceleratori

Lhc è ai blocchi di partenza! Il *Large Hadron Collider*, l'anello di collisione per adroni in costruzione al Cern di Ginevra, tra alcuni mesi prenderà il via.

Insieme all'acceleratore entreranno in funzione i quattro rivelatori di particelle degli esperimenti Atlas, Cms, Alice e Lhc-b, destinati allo studio delle reazioni che si produrranno lungo l'anello, in quattro punti distinti.

L'acceleratore è costituito da due anelli intrecciati ed è installato all'interno dello stesso tunnel circolare lungo 27 km già utilizzato per il Lep (*Large Electron Positron collider*), il precedente collisore del Cern, che ha smesso di funzionare nel novembre del 2000. Diversamente da quanto accadeva nel Lep, in cui venivano accelerati e fatti scontrare elettroni e antielettroni, le reazioni osservate in Lhc saranno il frutto di urti tra particelle molto più pesanti, gli adroni (particelle composte da quark come i protoni e i neutroni), accelerati a velocità vicine alla velocità della luce. L'enorme energia che si svilupperà nella collisione lascia prevedere la formazione di moltissime particelle, delle quali sarà possibile studiare le caratteristiche e i meccanismi di interazione: alcune di esse sono già note, mentre altre non sono mai state osservate direttamente.

Si prevede che in Lhc sarà sviluppata un'energia di collisione di 14 teraelettronvolt,

10.000 miliardi di volte superiore all'energia dei fotoni emessi da una comune lampadina, e che la luminosità, del fascio, legata alla densità delle particelle in esso presenti, sarà di 10^{34} per centimetro quadrato al secondo (10 milioni di miliardi di miliardi di miliardi).

Si tratta di valori largamente superiori a quanto mai realizzato finora: l'energia è sette volte superiore a quella del Tevatron del Fermilab di Chicago e la luminosità è venti volte superiore a quella del Isr, il collisore protone-protone costruito al Cern sul finire degli anni Sessanta. Richieste così eccezionali portano a concepire soluzioni tecnologiche spinte al limite delle attuali conoscenze.

Per fare in modo che i fasci di particelle non sfuggano dall'anello, ma rimangano confinati in esso, e ben focalizzati, sono disposti lungo Lhc circa 1.700 magneti, per una lunghezza totale di 24,5 km e una massa complessiva di oltre 40.000 tonnellate. Di questi, 1.232 sono magneti di *dipolo* e hanno il preciso compito di curvare il fascio lungo l'anello, mentre oltre 400 magneti di *quadrupolo* mantengono il fascio ben focalizzato. I dipoli seguono l'evoluzione del fascio generando campi magnetici che, per curvare la traiettoria di particelle sempre più veloci, devono essere sempre più elevati. Al momento delle collisioni, in particolare, quando i protoni hanno ormai velocità relativistiche,

il campo magnetico dei dipoli supera gli 8 tesla ed è quindi circa 200 mila volte più intenso del campo magnetico terrestre. Per ottenere simili prestazioni questi magneti superconduttori lavorano a temperature bassissime. Raffreddati con l'uso di elio superfluido a 1,9 gradi kelvin (circa -271° C), i dipoli e i quadrupoli di Lhc saranno gli oggetti più freddi dell'Universo! A pieno regime, inoltre, sulla struttura che contiene un dipolo lungo 15 metri agisce una forza elettromagnetica di circa 100.000 tonnellate, mentre l'energia accumulata è di 8 megajoule. In un ambiente così ostile per i materiali, i conduttori tendono a deformarsi e nel campo magnetico appaiono distorsioni che seguono un'evoluzione complessa. Anche la forza elettromagnetica tra i fasci e le correnti persistenti nel superconduttore producono forze il cui effetto è quello di rendere caotiche e instabili le traiettorie dei protoni. Allo scopo di prevedere questi fenomeni e mitigarne gli effetti, sono stati sviluppati sofisticati strumenti di analisi e di calcolo e sono stati messi in opera accurati sistemi di controllo di qualità delle parti più critiche dei magneti, come i cavi superconduttori, le bobine e le strutture di contenimento. Inoltre, tutta la circonferenza di Lhc prevede sistemi di correzione in grado

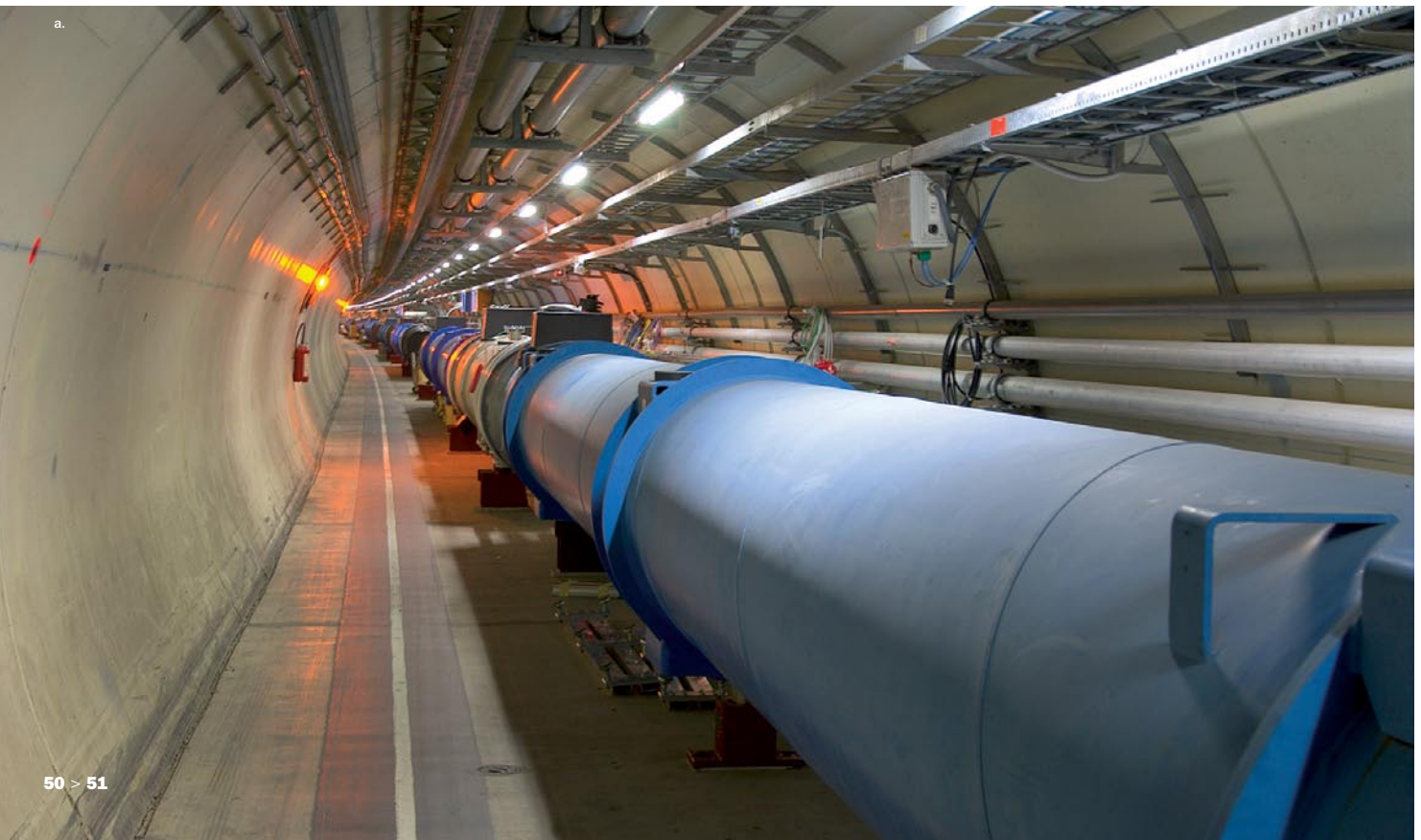
di bilanciare gli effetti negativi dei contributi destabilizzanti del campo magnetico.

La probabilità di dar luogo a un evento in un anello di collisione, di generare cioè determinati tipi particelle dallo scontro di due fasci, è tanto più bassa quanto più è alta la massa totale delle particelle originate nell'urto (la diminuzione è addirittura quadratica: raddoppiando la massa, cioè, la probabilità diventa un quarto). Per questa ragione, gli eventi ad altissima energia attesi in Lhc sono chiamati "eventi rari". Se si vogliono raccogliere in un tempo ragionevole un numero significativo di eventi rari, quanto più elevata è l'energia di collisione, e quindi la massa delle particelle previste, tanto più elevata deve essere la luminosità.

Questo fatto spinge a massimizzare il valore della luminosità del Lhc fino ai limiti imposti dalla fisica e dalla tecnologia.

Il principale limite fisico nasce proprio dall'interazione elettromagnetica tra i fasci, che si verifica quando due pacchetti di adroni, collidendo, si incuneano l'uno nell'altro. Questa interazione dipende in modo complesso dalle posizioni e dalle velocità di ciascuna particella. A causa di ciò, le traiettorie dei protoni assumono un carattere sempre più casuale e quando la densità di particelle nei

a.
L'installazione dei magneti di Lhc procede rapidamente. L'ultimo dei 1700 magneti previsti è stato calato nel tunnel del collisore lo scorso maggio.



pacchetti supera un valore critico le traiettorie perdono stabilità. L'altro limite fisico nasce dall'interazione elettromagnetica tra un intenso fascio di particelle e le pareti dell'anello.

Per contenere le interazioni dei fasci con le particelle dell'aria, i fasci viaggiano all'interno di una ciambella in cui viene fatto il vuoto. Quando l'intensità di carica elettrica circolante supera un certo valore, però, l'interazione con le pareti metalliche della ciambella induce un effetto destabilizzante che può essere attenuato solo facendo ricorso ad un potente sistema di contro-reazione.

Limitazioni tecnologiche al valore della luminosità del fascio sorgono quando si definiscono le caratteristiche di alcuni sistemi che hanno un particolare ruolo strategico.

Accelerate e deviate continuamente all'interno dell'anello, ad esempio, le particelle del fascio sono soggette a rapide variazioni di moto a seguito delle quali irradiano energia e danno luogo alla cosiddetta radiazione di sincrotrone. Il sistema criogenico, quindi, oltre a raffreddare i magneti, deve essere concepito per assorbire la potenza di sincrotrone (che in Lhc è dell'ordine di 3.600 watt) irradiata continuamente lungo la traiettoria del fascio, nonché la radiazione depositata quando parte del fascio si disperde.

È previsto, inoltre, un sistema destinato ad assorbire i protoni ancora circolanti alla fine di una sessione sperimentale. Esso deve essere compatibile con situazioni di emergenza tali da richiedere che tutta l'energia immagazzinata, il cui valore massimo raggiunge i 360 mega-joule per fascio circolante, sia evacuata immediatamente. Di importanza cruciale è anche il sistema di collimazione, destinato ad assorbire l'inevitabile alone che circonda il fascio: deve avere un'efficienza senza precedenti, tale da far prevedere perdite di non più di 2 particelle su 10.000, e deve poter sostenere senza danno situazioni di emergenza che portino all'impatto istantaneo di una considerevole parte del fascio, fino al 10%. Non ultimo, il sistema per il vuoto, che non prevede l'uso di pompe ma sfrutta l'effetto di pompaggio criogenico diffuso tra superfici a temperature diverse, deve funzionare perfettamente nonostante l'esigua dimensione della camera a vuoto.

Solo quando Lhc entrerà in funzione, quindi entro alcuni mesi, sarà possibile studiare in dettaglio questi e altri aspetti tecnici, allo scopo di raggiungere nel più breve tempo possibile i parametri di funzionamento previsti.

Al termine di quel percorso Lhc sarà l'acceleratore più potente mai costruito.

b. Uno dei 1.232 dipoli magnetici superconduttori che hanno la funzione di curvare il fascio di particelle accelerate all'interno dell'anello di Lhc.

c. Sezione trasversale del tubo nel quale il fascio di particelle di Lhc è accelerato a velocità prossime alla velocità della luce. Il tubo ha la funzione di proteggere i magneti dalle radiazioni emesse dal fascio. I magneti, infatti, che funzionano a temperature molto basse, al contatto con le radiazioni si scalderebbero. Le fessure visibili nell'immagine permettono alle molecole di gas residui di attraversare la schermatura ed essere "congelate" sulle pareti del tubo del fascio, mantenuto a sua volta a una temperatura molto bassa.

