

Salto a velocità luce

Macchine per accelerare

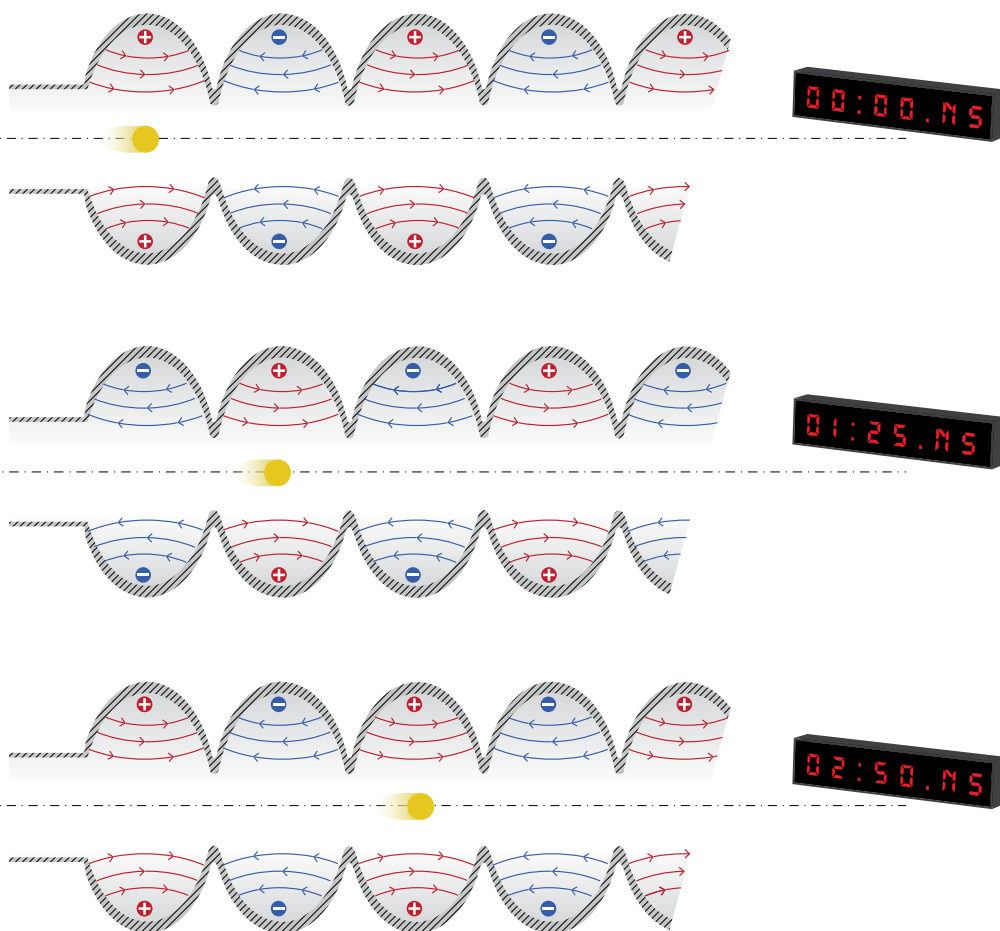
di Mirko Pojer

Non stiamo parlando di fantascienza, ma di acceleratori di particelle. Di macchine che sembrano uscite dalla fantasia degli sceneggiatori di “Guerre stellari”, ma che in realtà sono potenti strumenti scientifici creati per tornare indietro nel tempo, fino ai primi istanti dell’universo, quando tutta la materia era accumulata nello stesso punto con un’energia elevatissima. Benché oggi trovino applicazioni importanti negli ambiti più disparati (dalla medicina alla chimica, dalla biologia alla fisica dei materiali, dalla scienza della Terra fin forse, un giorno, alla generazione di energia), gli acceleratori di particelle sono nati come strumenti di ricerca nella fisica nucleare e delle alte energie. Facendo collidere particelle ad altissima energia, si riescono, infatti, a riprodurre le condizioni esistenti pochi istanti dopo il Big Bang, quando l’universo era appena nato. In quegli istanti, esistevano particelle che, grazie

agli acceleratori, possiamo oggi riprodurre nelle collisioni. Tali particelle decadono, cioè si trasformano, rapidamente in altre particelle più note che sono analizzate sotto la lente potente dei rivelatori degli esperimenti. Osservando le tracce e i decadimenti nei rivelatori, gli scienziati riescono a identificare le particelle primarie generate dalle collisioni. Seguendo il progresso tecnologico, l’energia di collisione negli acceleratori di particelle è costantemente aumentata negli anni, aumentandone il potenziale di scoperta, con la rivelazione di particelle sempre più massive, grazie all’equivalenza einsteiniana tra massa ed energia. È il caso del bosone di Higgs, identificato nel 2012 grazie a Lhc, l’acceleratore più potente mai costruito. Lungo 27 km e situato a circa 100 m di profondità a cavallo del confine franco-svizzero nella periferia di Ginevra, il Large Hadron Collider è in grado di produrre

a.
Cavità a radiofrequenza in Lhc.



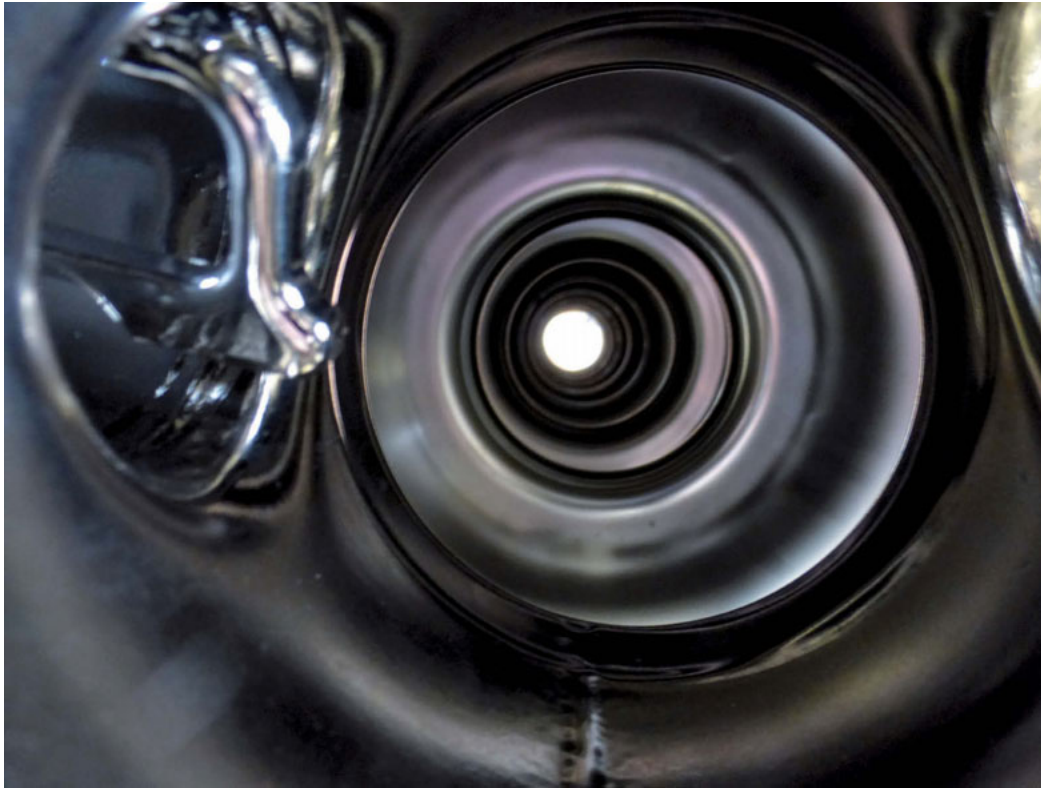


b. Schema di funzionamento delle cavità risonanti a radiofrequenza a Lhc. I pacchetti che si muovono all'interno dell'acceleratore perdono energia, che viene restituita nel passaggio attraverso le cavità risonanti. In Lhc le cavità funzionano a 400 MHz, cioè in ogni cavità il campo elettrico si modifica in modo continuo tornando ad avere lo stesso valore ogni 2,5 ns (quindi dopo 1,25 ns avrà la polarità opposta a quella che aveva al tempo 0), in fase con il passaggio dei pacchetti in modo che questi sentano sempre un campo accelerante.

collisioni tra protoni che viaggiano a una velocità prossima a quella della luce con un'energia record di 6,5 TeV, ovvero 6500 miliardi di eV. Questa energia corrisponde a quella di un moscerino in volo: può sembrare poco, ma non se si pensa che è concentrata in una particella delle dimensioni di un milionesimo di miliardesimo di millimetro. E in Lhc ci sono circa 2000 pacchetti di protoni, ognuno contenente 100 miliardi di particelle, la cui energia cumulata è comparabile a quella di una vettura utilitaria che viaggia a 3000 km all'ora! Il metodo più semplice per accelerare una particella carica è quello di immergerla in un campo elettrico, come può essere quello generato da due superfici cariche di segno opposto, posizionate l'una di fronte all'altra: la nostra particella (immaginiamo di carica positiva, come può essere un protone) sarà attratta dalla superficie carica negativamente e respinta da quella carica positivamente, subendo un effetto netto di accelerazione da una superficie verso l'altra. In questa accelerazione, la particella guadagnerà una quantità di energia proporzionale alla differenza di potenziale delle due superfici. Si parla in questo caso di acceleratori "elettrostatici", in cui il campo elettrico è mantenuto costante.

Nelle cavità a radiofrequenza (Rf), invece, un campo elettromagnetico è fatto risuonare per generare un'onda accelerante, che agisce sulle particelle come un'onda d'acqua su un surfista: solo le particelle che sono ben sincronizzate

con la cresta dell'onda saranno accelerate. Un particolare tipo di generatore, detto "klystron", alimenta il campo elettromagnetico all'interno delle cavità e queste trasferiscono alle particelle l'energia fornita loro dal klystron stesso. Nel caso di un acceleratore circolare come Lhc, le particelle passano attraverso le cavità Rf a ogni giro e quindi la sincronizzazione tra particelle e onda accelerante è importante. Questo succede circa 11.000 volte al secondo per il grande collisore, e a ogni passaggio i protoni passano attraverso otto cavità alimentate da klystron di circa 2 MW di potenza che oscillano con una frequenza di 400 MHz. Una tecnologia complessa che necessita anche di magneti di ultima generazione per mantenere le particelle nella loro traiettoria circolare. Infatti, l'energia di un acceleratore circolare è proporzionale al raggio della macchina e al campo magnetico che guida le particelle nella loro traiettoria: più alta l'energia dei protoni nei fasci, maggiore dovrà essere il campo magnetico necessario a trattenerli lungo la traiettoria del collisore. Per le energie di Lhc, sono stati costruiti elettromagneti molto speciali che sono in grado di produrre campi magnetici elevatissimi (si tratta di campi 160.000 volte superiori al campo magnetico terrestre) senza dissipare energia. Ciò è possibile grazie all'utilizzo di superconduttori, materiali che, al di sotto di una certa temperatura detta "temperatura critica", perdono qualsiasi resistenza elettrica.



c. Sezione trasversale di una delle nove celle a base di niobio della cavità a radiofrequenza operante a 1,3 GHz costruita per l'International Linear Collider che entrerà in funzione in Giappone nei prossimi anni.

Negli elettromagneti di Lhc circolano correnti elettriche di più di 10.000 A, ma, alla temperatura prossima allo zero assoluto in cui essi operano ciò avviene senza dissipazione. Un vantaggio enorme se comparato con i magneti tradizionali che non sono in grado di produrre campi magnetici elevati e che inoltre dissipano una notevole quantità di energia, riscaldandosi ad alte correnti sotto l'effetto della loro resistenza elettrica. L'inconveniente dei magneti superconduttivi è che devono essere raffreddati da decine di tonnellate di elio liquido mantenuto freddo con impianti che consumano circa 35-40 MW.

Le scoperte che i presenti acceleratori (Lhc in primis) forniranno in futuro, assieme all'avanzamento della tecnologia nei prossimi anni, definiranno la direzione che la fisica degli acceleratori prenderà nei prossimi decenni (questo è l'orizzonte temporale per la realizzazione di una nuova macchina acceleratrice). Se volessimo raggiungere valori di energia superiori a Lhc, dovrebbero essere costruiti nuovi e più potenti magneti oppure una macchina con una circonferenza ancora maggiore. Si studiano, già oggi, acceleratori ancora più potenti: da nuove macchine lineari per l'accelerazione di

elettroni (con gli studi sull'International Linear Collider e sul Cern Linear Collider, rispettivamente da 1 e 3 TeV su una lunghezza di circa 50 km), al potentissimo Fcc (Future Circular Collider), che dovrebbe avere una circonferenza di 100 km e un'energia dieci volte superiore a quella di Lhc, grazie a nuovi magneti in grado di produrre campi magnetici tre volte superiori a quelli di Lhc. Queste sono tecnologie all'avanguardia per ottenere energie di collisione mai raggiunte prima, per ricostruire il passato e permetterci di comprendere meglio l'universo in cui viviamo.

Biografia

Mirko Pojer ha studiato fisica all'Università degli Studi di Milano. Dopo un periodo all'Infn di Milano e un anno in Edison Termoelettrica a Torino, nel 2001 ha preso servizio al Cern di Ginevra, dove ha contribuito a test e sviluppo dei magneti di Lhc. Dal 2009 è uno dei responsabili delle operazioni di Lhc, nonché parte del gruppo di esperti che studiano l'*upgrade* della macchina nell'ambito del progetto High Luminosity Lhc.

DOI: 10.23801/asimmetrie.2018.24.8