MUSEO NAZIONALE SCIENZA E TECNOLOGIA LEONARDO DA VINCI

Cavità risonante a radiofrequenza del LEP

INVENTARIO	IGB-16515
COLLOCAZIONE	M1/ Fisica delle particelle
DESCRIZIONE	Cavità di accelerazione in radiofrequenza utilizzata durante la prima fase di operatività del LEP (Large Electron-Positron Collider) tra il 1989 e il 1995. E' caratterizzata da una struttura cilindrica orizzontale, nel cui centro è posizionato il tubo sottovuoto in cui venivano fatte correre le particelle da accelerare, e da una grossa sfera posizionata centralmente rispetto al cilindro. All'interno del LEP i pacchetti di elettroni e di positroni (elettroni carichi positivamente) circolavano in direzioni opposte venendo accelerati ogni qual volta raggiungevano gli otto punti in cui erano posizionati, in gruppi di 16, 128 cavità come questa. Le cavità erano situate su entrambi i lati dei quattro principali esperimenti presenti lungo i 27 chilometri di estensione dell'acceleratore e permettevano di raggiungere 400 milioni di volt di potenza di accelerazione ad ogni giro. I campi elettromagnetici utilizzati per accumulare l'energia erano composti da microonde a 352 MHz. Mentre le particelle correvano all'interno del tubo cilindrico la sfera di rame, certamente la struttura più caratteristica di questa macchina, aveva la funzione di immagazzinare l'energia per il tempo che trascorreva tra il passaggio di un singolo grappolo di particelle e il successivo. Una cavità a radiofrequenza (RF) è una camera metallica sotto vuoto che contiene un campo elettromagnetico. Nel campo della fisica delle particelle il suo scopo principale è quello di fornire energia alle particelle cariche presenti all'interno di un acceleratore. Le cavità RF sono distribuite lungo la lunghezza dell'acceleratore in gruppi e non uniformemente esattamente come lo sono le perline su un braccialetto; in questa metafora le perline rappresentano le cavità vere e proprie mentre il braccialetto indica il tubo dell'acceleratore nel quale corrono le particelle da accelerare. In una cavità RF un generatore a radio frequenza fornisce un campo elettromagnetico la cui energia viene accumulata nella cavità stessa che funge così da deposito; la cavità viene modellata su una dimensione e una forma specifiche in modo che le onde elettromagnetiche diventino risonanti. Le particelle cariche che passano attraverso la cavità percepiscono la forza complessiva e la direzione del campo elettromagnetico risultante che trasferisce l'energia spingendole in avanti lungo l'acceleratore. Per rimanere nel campo delle metafore si può immaginare il processo come quello che si mette in atto quando si deve mettere in movimento un'altalena che viene spinta solo ed esattamente nel momento in cui raggiunge la posizione corretta pena l'ottenimento di un effetto contrario a quello voluto (in questo caso di decelerazione invece che di accelerazione). Il campo in una cavità RF, infatti, viene fatto oscillare a una frequenza prestabilita sincronizzata con l'arrivo delle particelle. Le cavità acceleratrici del LEP, realizzate con materiali superconduttivi, avevano un duplice scopo: accelerare i fasci di particelle fino all'energia di collisione e mantenere quell'energia una volta raggiunta. Quando il LEP ha iniziato ad operare, nel 1989, erano presenti 128 cavità di accelerazione; con una tensione di accelerazione che mediamente arrivava a 300 megavolt (MV) ad ogni giro, fornivano energia sufficiente a innalzare l'energia di ciascun pacchetto a 50 GeV, sufficiente per

produrre particelle Z. Usando cavità di nuova generazione caratterizzate da una tensione di accelerazione di 2700 MV per giro, il LEP poté raggiungere energie ancora più elevate; installate a partire dal 1996 le 272 nuove cavità superconduttrici fornivano potenza sufficiente a far raggiungere al LEP un'energia di collisione totale di 189 GeV. La storia della LEP inizia alla fine degli anni '70, quando i fisici degli Stati membri del CERN, tra cui l'Italia, si riunirono per discutere del futuro a lungo termine della fisica delle alte energie in Europa. In quegli anni stava emergendo un nuovo quadro relativo alle interazioni fondamentali che prevedeva l'unificazione delle forze elettromagnetiche e deboli; in questo senso il LEP venne progettato appositamente per indagare quelle ipotesi. L'idea di realizzare un collisore elettroni-positroni fu una novità per il CERN che, fino a quel momento, si era dedicato soprattutto allo studio di particelle pesanti e complesse come i protoni. Ma poiché elettroni e positroni sono particelle elementari che non possiedono una sottostruttura (i protoni, al contrario, sono agglomerati di quark) i risultati delle collisioni tra di loro risultano molto più facili da interpretare. Il progetto di realizzazione del LEP venne approvato nel 1981. Sebbene gran parte dell'infrastruttura necessaria per il nuovo acceleratore fosse già presente - in particolare per quanto riguarda l'acceleratore che doveva pre-accelerare gli elettroni e i positroni da usare poi nel LEP - si rese necessario predisporre nuove strutture tra le quali il tunnel di 27 chilometri destinato ad ospitare la macchina nonché l'insieme delle sale sperimentali e degli edifici di superficie. Era poi necessario scavare dei tunnel di trasferimento che unissero l'acceleratore SPS (Super Proto Sincrotrone) al LEP, così come gli edifici che dovevano ospitare un acceleratore lineare (Linac). L'8 febbraio 1988 le due estremità dell'anello dei 27 chilometri si unirono con un solo centimetro di errore. Il primo pacchetto di particelle venne immesso nell'anello di accelerazione il 14 luglio 1989 mentre le prime collisioni si ebbero il 13 agosto molto prima dell'inaugurazione ufficiale avvenuta il successivo 13 novembre. Sul LEP vennero svolti quattro esperimenti: L3, ALEF, OPAL e DELPHI. Ogni rivelatore utilizzato era costituito da strati di sottorivelatori che raccoglievano le particelle prodotte nelle collisioni elettrone-positrone mentre il tubo che trasportava i fasci di elettroni e positroni (diretti in direzione opposta) passava esattamente nel centro di questi rivelatori. Ogni strato svolgeva un compito specifico nell'identificare le particelle prodotte nelle collisioni. Il più grande dei rivelatori del LEP è stato L3. Il suo magnete, composto da circa 8500 tonnellate di ferro alto 15,8 metri e lungo 16 metri, circondava i vari rivelatori fra i quali le camere progettate per registrare le tracce delle particelle e i calorimetri per misurarne le energie. Parte del sistema calorimetrico di L3 era costituito da cristalli di ossido di germanio e bismuto. Questi elementi emettono luce quando vengono attraversati dalle particelle cariche; questa proprietà viene sfruttata in medicina nelle macchine di scansione PET usate oramai in quasi tutti gli ospedali del mondo. L'esperimento ALEF ha permesso di studiare le tracce delle particelle prodotte quando un elettrone e un positrone si annichilivano per produrre una particella Z. Si è così visto che la Z, decadendo, produce un quark, un antiquark e un gluone, il vettore della forza forte che tiene insieme i quark. Il rivelatore OPAL era caratterizzato da un calorimetro elettromagnetico usato per misurare l'energia di elettroni e di fotoni. Era costituito da migliaia di blocchi di vetro al piombo ricoperti di nero per isolarli dalla luce spuria proveniente dall'esterno. Vi era poi un calorimetro adronico in grado di bloccare protoni, neutroni e altri adroni (particelle costruite da quark) e dotato di rivelatori per misurare l'energia depositata da queste particelle. L'elettromagnete usato per piega le tracce delle particelle forniva informazioni sulla quantità di moto e quindi sull'energia delle particelle osservate. Dopo sette anni di misurazioni ad alta precisione della particella Z, gli esperimenti del LEP vennero dedicati allo studio delle particelle W. In questo caso venne utilizzato l'esperimento DELPHI che fu il primo in grado di registrare il decadimento di due particelle W prodotte insieme in una collisione elettrone-positrone. In questa collisione, l'elettrone e il positrone si annichilivano e la loro energia si trasformava nella massa delle due particelle W - una caricata positivamente, l'altra negativamente - che poi decadevano quasi istantaneamente in altre particelle ad esempio in un quark e un antiquark cosa che produceva un totale di quattro tracce

	nel rivelatore. Il LEP è stato uno strumento con il quale si sono potuti ottenere importantissimi risultati scientifici. Oggi non esiste più essendo stato smantellato nel 2000 per far posto a LHC. Per realizzare il LEP vennero scavati 1,4 milioni di metri cubi di terra mentre la sua costruzione richiese quasi sei anni di lavoro. Il tunnel che lo ospitava ha una pendenza dell'1,4% e una circonferenza di 26.659 metri correndo ad una profondità variabile da 50 a 175 metri. Il diametro interno della galleria è di 3,8 metri nelle parti curve e di 4,4 o 5,5 metri nei tratti rettilinei. Elettroni e positroni percorrevano l'anello di accelerazione 11.200 volte al secondo mentre la misurazione dell'energia del LEP era così precisa da essere sensibile all'orbita della luna, al livello dell'acqua nel Lac Leman e alla partenza del TGV dalla stazione di Ginevra.
DEFINIZIONE	cavità risonante a radiofrequenza
ACQUISIZIONE	Centro Europeo Ricerche Nucleari (CERN) (2016)
SETTORE	Strumentazione tecnico scientifica
TIPOLOGIA	cavità risonante
SCHEDA ICCD	NTR