

Interviste Newsletter

LE GRANDI SFIDE DEL FUTURE CIRCULAR COLLIDER



Intervista con Michael Benedikt, fisico del CERN, coordinatore dello studio di fattibilità per FCC

Si è svolto il 6 e il 7 maggio a Roma il workshop nazionale *L'INFN e la Strategia Europea per la Fisica delle Particelle*, che ha visto una grande partecipazione della comunità scientifica, anche di giovani ricercatori e ricercatrici. Scopo dell'incontro era presentare il lavoro che diversi gruppi di ricerca dell'INFN stanno conducendo per raggiungere gli obiettivi raccomandati dall'ultima edizione dell'*Update of the European Strategy for Particle*

Physics (ESPPU) e avviare la discussione sulla preparazione del prossimo aggiornamento della strategia europea per la fisica delle particelle, un appuntamento cruciale per il futuro della fisica delle alte energie. Abbiamo parlato dello stato dei lavori per il Future Circular Collider (FCC), progetto al cuore dell'aggiornamento della Strategia, e delle prossime grandi sfide, con Michael Benedikt, fisico degli acceleratori del CERN, che coordina lo studio di fattibilità di FCC.

Come sarà FCC, e in che cosa sarà diverso rispetto a LHC? E perché sarà una buona "fabbrica di Higgs"?

FCC sarà un collisore circolare basato su un tunnel lungo 90 chilometri, situato a circa 200 metri di profondità, nell'area tra Svizzera e Francia. Nella prima fase del progetto, sarà installato un collisore di leptoni, FCC-ee, all'interno del tunnel sotterraneo. Sarà basato su normali magneti conduttori, e dotato di un sistema di grandi cavità superconduttive a radiofrequenza per accelerare le particelle e per compensare le perdite di radiazione di sincrotrone. FCC-ee sarà in grado di accelerare e far collidere elettroni e positroni, mentre in LHC si scontrano protoni. La grande differenza tra protoni ed elettroni consiste nel fatto che gli elettroni producono molte più perdite di energia per radiazione di sincrotrone, e questo significa che, nel collisore di elettroni e positroni, abbiamo bisogno di un grande sistema a radiofrequenza per compensare queste perdite di radiazione di sincrotrone. Quindi, la tecnologia chiave è il sistema superconduttore a radiofrequenza, e un tema molto importante è rendere questo sistema il più efficiente possibile dal punto di vista energetico, per poter disporre di un collisore che sia sostenibile.

Di quali tecnologie oltre lo stato dell'arte si servirà FCC?

Il progetto FCC prevede due collisori. Nella prima fase un collisore di leptoni, appunto, la cui tecnologia chiave è il sistema superconduttore a radiofrequenza. In questo caso, il grande sforzo è rendere questo sistema più efficiente sia in termini di prestazioni tecniche, sia in termini di efficienza energetica e quindi di consumo elettrico. Questo richiede l'ottimizzazione dei materiali delle cavità, dei rivestimenti delle cavità, e delle tecnologie superconduttive. Mentre, la seconda fase del progetto, FCC-hh, prevede la costruzione di un collisore di adroni. In questo caso la tecnologia chiave è quella dei magneti superconduttori ad alto campo magnetico. Puntiamo a realizzare dipoli con un campo magnetico pari al doppio di quello dei dipoli impiegati per LHC. Per realizzarli dobbiamo anche fare

ricerca sui materiali superconduttivi ad alta temperatura, con l'obiettivo di sviluppare magneti efficienti che operino a temperature più elevate rispetto ai magneti di LHC.

Ora state conducendo lo studio di fattibilità per FCC. Quali sono i principali obiettivi di questo studio?

Lo studio di fattibilità deve affrontare tutti gli aspetti necessari per progettare e prendere una decisione sul progetto di un nuovo enorme collisore, compresi gli aspetti riguardanti l'integrazione e la collocazione nella regione di una grande infrastruttura, di 90 chilometri di circonferenza, che implica anche questioni sociali ed economiche. Bisogna affrontare, inoltre, la questione della fattibilità dei lavori di ingegneria civile, dobbiamo capire come costruire il tunnel di 90 chilometri, dove si possono costruire gli accessi in superficie, quanti pozzi occorrono per realizzare tecnicamente questa infrastruttura. Lo studio deve coprire tutti gli aspetti dello sviluppo tecnologico dei collisori, del raffreddamento delle infrastrutture, della ventilazione, del supporto criogenico, nonché occuparsi della progettazione dei rivelatori e degli esperimenti. Un'analisi completa e un quadro di questa futura infrastruttura devono essere disponibili entro la fine dello studio di fattibilità, in modo che chi deve prendere decisioni in merito possa avere tutti gli elementi per una discussione informata sulla fattibilità, sui costi e su tutti gli aspetti relativi alla realizzazione di questo futuro collisore.

A che punto è ora il vostro lavoro e quali sono le prossime tappe? E quando dovrebbe essere completato lo studio di fattibilità?

Abbiamo appena completato il rapporto di *mid-term*, che è stato consegnato al Council del CERN, il quale ha esaminato lo stato di avanzamento generale dello studio di fattibilità. Gli obiettivi principali per i prossimi mesi sono completare entro la fine di quest'anno il lavoro tecnico per lo studio di fattibilità, preparare entro marzo 2025 la documentazione e aggiornare il preventivo di spesa. E, infine, dobbiamo fornire questi risultati per l'Aggiornamento della Strategia Europea per la Fisica delle Particelle, che inizierà subito dopo.

Se lo studio di fattibilità e il successivo processo di approvazione avranno esito positivo, quanto tempo servirà per costruire FCC? E quando si prevede che FCC entri in funzione?

Se lo studio di fattibilità avrà successo e se la Strategia Europea per la Fisica delle Particelle raccomanderà il progetto, allora il Consiglio del CERN e gli altri potenziali partner finanziatori potrebbero discutere e prendere una decisione in merito tra la fine del 2027 e l'inizio del 2028. Da quel momento i lavori di progettazione di ingegneria civile e le gare d'appalto per i contratti di ingegneria civile potrebbero prendere avvio. Questo consentirebbe di iniziare la costruzione dell'infrastruttura all'inizio degli anni '30. La costruzione sarà completata entro gli anni '40 e seguita dall'installazione dell'infrastruttura tecnica, dell'acceleratore e dei rivelatori. Cioè la messa in funzione dell'acceleratore e dei rivelatori potrebbero iniziare dalla metà degli anni '40 in poi.

Ci sono altre potenziali "fabbriche di Higgs" in fase di valutazione?

Sì, ci sono vari studi. C'è il progetto cinese che è in tutti i suoi parametri, nelle sue prestazioni e nei suoi piani simile e paragonabile a FCC-ee. Ma ve ne sono anche altri, come i collisori lineari, in particolare il progetto ILC, proposto in Giappone, che differisce significativamente in termini di numero di esperimenti, e in molti altri parametri dell'acceleratore.

Le opere civili sono compatibili con l'operatività di High Luminosity LHC?

Sì, Hi-Lumi LHC può funzionare durante i lavori di ingegneria civile della nuova infrastruttura. L'anello di FCC sarà realizzato circa 100 metri sotto l'anello di LHC, e la maggior parte di esso si trova in un sito geografico diverso, quindi non ci sono problemi di compatibilità tra le attività di Hi-Lumi-LHC e la costruzione di FCC.

Quanti diversi paesi stanno lavorando agli studi di fattibilità e come è organizzato il vostro lavoro?

Lo studio di fattibilità è organizzato come una collaborazione internazionale. Esiste un memorandum d'intesa che fornisce il quadro giuridico. I singoli partner possono aderirvi sottoscrivendo questo memorandum e concludendo poi accordi individuali, che chiamiamo addenda, per fornire contributi specifici. In totale oggi lavorano allo studio di fattibilità circa 150 Istituti di 33 paesi. Abbiamo circa l'equivalente di 50 persone a tempo pieno che lavorano al CERN, distribuite su 150 persone. Poi abbiamo circa 50 dottorandi e postdoc che lavorano direttamente al CERN, e un numero equivalente che proviene dalla collaborazione. Quindi, in totale abbiamo circa l'equivalente di 50-60 persone che lavorano a tempo pieno, e circa 50-60 studenti. Di solito organizziamo una settimana di riunioni della collaborazione all'anno, chiamata FCC Week, che quest'anno si svolgerà a San Francisco, in California, tra non molto, a giugno.

Qual è il ruolo dell'Italia e dell'INFN nel progetto FCC?

L'Italia e l'INFN sono stati un partner molto forti fin dal primo momento, non solo nello studio di fattibilità, ma anche nella fase di progettazione concettuale iniziata nel 2014. L'INFN ha sempre accompagnato lo sviluppo del progetto, e questo è chiaramente molto importante per il progetto perché dà stabilità a lungo termine e gli consente di poter contare sulla competenza dell'INFN. In futuro, anche le industrie italiane potrebbero contribuire al progetto, in particolare nella tecnologia dei magneti ad alto campo, nel sistema superconduttore a radiofrequenza, dove esiste una significativa esperienza, e in altre tecnologie degli acceleratori, perché l'Italia è un paese dove, grazie all'INFN, le attività di ricerca e sviluppo sugli acceleratori e i centri di ricerca basati sugli acceleratori sono ampiamente diffusi, luoghi dove il *know-how* e le tecnologie sono evoluti in collaborazione con le industrie.

Come FCC affronterà le sfide ambientali, per quanto riguarda sia la sua costruzione, sia la sua fase operativa?

Per la progettazione dell'infrastruttura, fin dal primo momento, ci siamo ispirati e fatti guidare dal principio "evitare, ridurre, compensare". Questo principio è riportato nella legge francese ed è menzionato anche nella legge svizzera, e significa che già nella primissima fase di progettazione, è fondamentale cercare di evitare qualsiasi incompatibilità ambientale. Solo se non puoi evitarla, allora devi comunque cercare di ridurla, e solo se non puoi più ridurla, devi pensare a misure compensative. Ed è per questo che abbiamo studiato un centinaio di varianti diverse del progetto, circonferenze diverse, layout diversi, collocazioni diverse, per renderlo compatibile con i vincoli di superficie, come zone protette, serbatoi di falda, aspetti umani, trasporti esistenti, percorsi esterni, reti di distribuzione elettrica già esistenti, e altri aspetti rilevanti. Allo stesso tempo, è necessario osservare la geologia della regione per rendere la costruzione del tunnel a basso rischio e fattibile. E, naturalmente, le prestazioni della macchina. Quindi, quello della sostenibilità è stato un ingrediente chiave fin dall'inizio. Inoltre, dal punto di vista tecnico, stiamo studiando l'ottimizzazione dell'assistenza tecnica, come aumentare l'efficienza del sistema superconduttore a radiofrequenza, come aumentare la sua efficienza elettrica, come ridurre il consumo energetico dei magneti introducendo nuovi design e altre evoluzioni tecnologiche. Poi ci sono gli aspetti relativi alla fornitura di energia del futuro impianto. Sappiamo che il consumo medio di FCC-ee sarà compreso tra 1,3 e 1,4 terawattora all'anno, mentre l'attuale consumo energetico del CERN più LHC è complessivamente di 1,2 terawattora all'anno. Abbiamo quindi studiato le più avanzate opportunità di acquisizione di energia elettrica da fonti rinnovabili, che consentono di ottenere il proprio approvvigionamento energetico grazie a un mix di fonti energetiche rinnovabili. Questo consentirebbe permetterebbe di basare il futuro funzionamento dell'impianto in larga misura sulle fonti rinnovabili. C'è poi un altro aspetto che stiamo studiando approfonditamente: stiamo cercando di riutilizzare il più possibile, ad esempio, il calore prodotto dal raffreddamento dei magneti, ad esempio, per riscaldare i centri abitati del territorio, gli ospedali, le scuole. Questo tipo di sinergie sono possibili perché il nostro è un progetto a lungo termine: FCC sarà operativo

nel 2040 e sarà possibile integrare questi servizi nella pianificazione urbana a lungo termine della regione. Questo rende il progetto molto interessante anche per la regione stessa che lo ospiterà.