

European Strategy of Particle Physics: update 2025

INFN programs

La regione di interazione dei collider futuri

Manuela Boscolo
INFN-LNF

in collaborazione con INFN-Pisa: F. Palla e INFN-Perugia: G. Baldinelli

e per la collaborazione ESPPU_a_MDI

Stato e obiettivo del progetto attuale

OBIETTIVO:

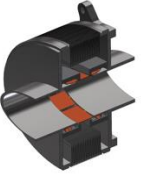
Costruzione del mockup della regione di interazione inclusivo delle camere da vuoto e del relativo raffreddamento per la validazione dei disegni, buckling test e loro integrazione con i soffietti, il rivelatore di vertice e il calorimetro di luminosità assemblati all'interno di un tubo di supporto leggero in fibra di carbonio.

STATO:

- In corso di realizzazione:
 - ✓ Camere da vuoto e relativi sistemi di raffreddamento.
 - ✓ Mockup del vertex e relativi sistemi di raffreddamento
- In progettazione (tempi stimati per la realizzazione di tutti i seguenti items > 1 anno)
 - ✓ Tubo di supporto
 - ✓ Mockup del soffietto
 - ✓ Mockup del calorimetro di luminosità

Stato del progetto del mockup della IR

Goal: validazione dei disegni, buckling test, assemblaggio e test dei sistemi di raffreddamento



In progettazione

In arrivo dalla ditta



Camera centrale: realizzata in doppio strato di Al con paraffina all'interno



Pronte per ordinarle alla ditta

1020 mm

310 mm
Camera centrale

1020 mm

Soffietto

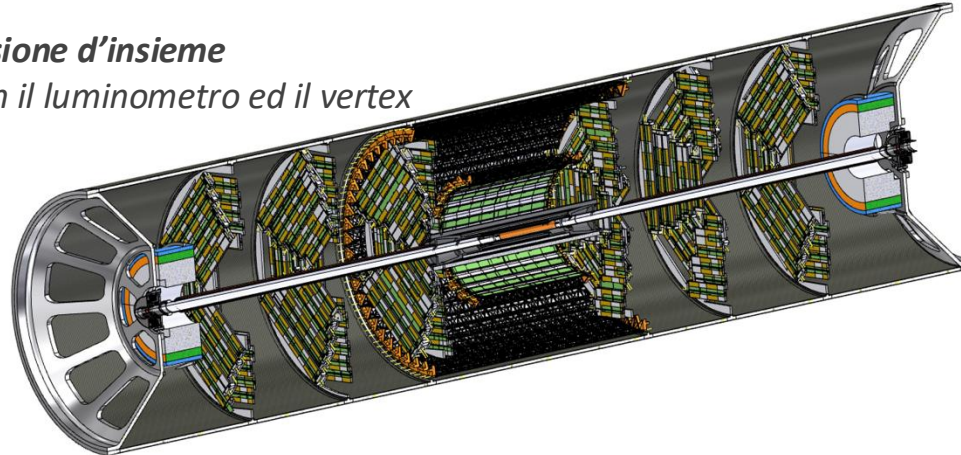
Camera laterale: realizzata in Al con sistema di raffreddamento esterno ad acqua

da progettare

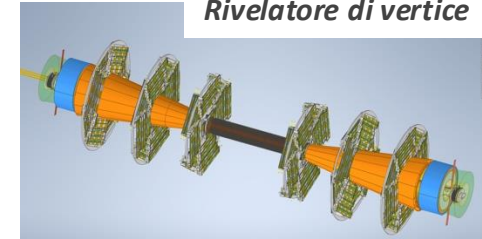


Tubo di supporto in fibra di carbonio & honeycomb

Visione d'insieme
con il luminometro ed il vertex



Rivelatore di vertice



75% degli ordini effettuati per il test nel tunnel del vento (a Pisa)

Fase finale ai LNF: integrazione nel mockup e test di raffreddamento

Costo materiale 200 k€ CERN + 80 k€ INFN
+ 101 k€ INFN richiesti ai referees

Scala temporale > dicembre 2025

Laboratorio di assemblaggio e test:

B. 5/a Serv. ing. mecc. (SIM) div.acc.

B.5a



Personale impiegato per il progetto attuale del mockup

- 0.3 FTE PI (M. Boscolo)
- 0.2 FTE art.36 Tecn. scadenza feb. 2025 (A. Ciarma) – Fisico con Phd in fis.accel.
- 1 FTE art.36 Tecn. scad. gen.2026 (F. Franesini) – Ing. mecc.
- 0.3 FTE progettista (S. Lauciani) + 0.1 FTE progettista senior (G. Sensolini) - mockup
- 0.1 FTE Tecn. (E. Di Pasquale) resp. serv. ing. mecc. div. acc – logistica lab mockup
- Supporto div. tecnica serv. impianti a fluido per sist. raffreddamento camere da vuoto mockup
- Supporto serv. vuoto div. acc. per messa a vuoto e test camere - mockup
- INFN-Pisa: 0.1 FTE (F. Palla), 0.1 FTE progettista senior (F. Bosi) + 1 FTE Ass. Tecn. ing. mecc. - vertex

Contesto

- **Beam pipe sottili e leggere**

Le beampipe del rivelatore attuale in **ALICE** hanno uno spessore di 0.8 mm e un raggio interno minimo di 18.2 mm, realizzati in berillio. Per il RUN4, ALICE mira a ridurre il raggio interno a 16 mm e lo spessore delle pareti a 0.5 mm, mantenendo il berillio come materiale. Anche ATLAS e CMS stanno discutendo la possibilità di cambiare le beam pipe per l'ultima fase del run di HL-LHC.

Nel caso di **FCC-ee**, invece, la beampipe avrà un diametro di 2 cm e sarà raffreddata tramite paraffina liquida che scorre all'interno di un doppio strato di pareti in berillio, ciascuna con uno spessore di 0.35 mm.

Si tratta di camere da vuoto estremamente sottili, al limite delle attuali tecnologie per garantire l'impermeabilità delle pareti. Per spingere ulteriormente questi limiti, le **future attività di R&D** si concentreranno sull'uso di materiali alternativi, come la lega di berillio e alluminio (Albemet) e i compositi di carbonio.

- **Integrazione dell'acceleratore e del rivelatore di vertice**

Per ottenere e sfruttare l'alta luminosità dell'FCC-ee, i fasci di elettroni e positroni devono essere focalizzati e portati in collisione con degli elementi magnetici complessi, i cui elementi sono posizionati molto vicino all'IR, all'interno del volume del rivelatore. Il montaggio del rivelatore deve soddisfare requisiti stringenti per garantire un'alta luminosità e, allo stesso tempo, consentire le operazioni e la manutenzione degli elementi del rivelatore difficili da raggiungere.

Importanza

Il raggiungimento degli obiettivi di misura richiesti dai programmi di fisica ai futuri collisori richiede la diminuzione del *material budget* delle beam pipe e dei rivelatori di vertice. È necessario quindi dimostrare la fattibilità tecnologica della realizzazione di camere da vuoto sottili con diametro dell'ordine di qualche cm e *material budget* inferiore allo 0.6% di lunghezza di radiazione. Contemporaneamente l'aumento delle correnti negli acceleratori necessario per fornire l'alta luminosità induce una notevole potenza trasferita alle camere fino a circa 500 mW/cm², che necessita di essere rimossa con dei sistemi che pesino il meno possibile sul *material budget*.

L'ottimizzazione e la soluzione di queste esigenze contrastanti rappresentano le sfide del progetto.

- **Diversi istituti stanno avendo una discussione comune per trovare soluzioni sinergiche al problema, in particolare all'interno dei detector R&D (DRD) dell'ECFA.**

I LNF rappresentano la sede ideale per aggregare in Italia altri gruppi sperimentali su questo R&D.

Obiettivi a 5 anni e oltre

- **Realizzazione e validazione del disegno delle camere sottili usando il berillio, lega di berillio e/o fibra di carbonio, con material budget inferiore allo 0.6% di X0 per collisori futuri e la loro integrazione con il vertex detector.**
- **Obiettivo a 3 anni:** know-how per la **fabbricazione di beam pipes in materiali leggeri** contestualmente alla qualifica di una o più ditte dedicate, per la lavorazione di tali materiali e la loro eventuale saldatura con electron-beam-welding (EBW) e laser.
- **Acquisizione delle tecnologie e del know-how per la realizzazione dei circuiti di raffreddamento delle camere da vuoto** con fluidi o tecniche di raffreddamento alternative.
- **Contributo alla realizzazione dei prototipi delle camere di FCC-ee per il TDR.**
- **Obiettivo a 5 anni:** realizzazione centro test e integrazione camere da vuoto presso i LNF.

Date le premesse e l'interesse della comunità, a più lungo respiro questo progetto può essere il nucleo grazie al quale l'INFN potrà sviluppare le competenze anche per altre macchine future incluso il muon collider, plasma colliders, FCC-hh, ecc.

Merito

- La proposta intende esplorare la realizzazione delle future regioni di interazione avanzate, investigandone il disegno alla luce dei requisiti di minimizzazione del *material budget* compatibile con le proprietà dei fasci di particelle degli acceleratori di prossima generazione, studiandone la fattibilità tecnica di realizzazione utilizzando i materiali più avanzati, contestualmente alla loro integrazione con i rivelatori di vertice leggeri e con geometrie compatte.
- Il dimensionamento del raffreddamento delle camere necessita di calcoli termici e di impedenza dipendenti dai parametri di macchina. Di particolare interesse sono i casi di FCC-ee e di EIC.
- Allo scopo, verranno realizzati i prototipi di camere di diverso spessore e grandezza (diametro e lunghezza) raffreddate con diverse soluzioni tecnologiche.
- L'integrazione del vertex detector richiede lo studio degli elementi strutturali (ancoraggio, isolamento termico, ...) e l'interferenza dei servizi di raffreddamento delle beam pipe con quelli del vertex deputati al raffreddamento, all'alimentazione e alla lettura dei dati del vertice.
- Sarà necessario sviluppare un ambiente integrato di simulazione tra i disegni strutturali/meccanici/termici delle camere e del vertice da una parte, e le simulazioni di macchina dall'altro.
- Verranno realizzati dei mockup di integrazione delle camere e del vertex all'interno di un laboratorio dedicato, attualmente nel building 5 della divisione acceleratori LNF. Dovrà essere presa in considerazione un'eventuale espansione dello stesso.
- Verranno avviate collaborazioni con altri centri di ricerca nazionali e internazionali e con ditte specializzate allo scopo di validare le migliori tecnologie confrontandole con le specifiche di progetto derivanti dall'acceleratore e dal rivelatore di vertice.

Collaborazioni possibili

- INFN-LNF (camere da vuoto con sistemi di raffreddamento, test, assemblaggi)
- INFN- Pisa (rivelatore di vertice e relativa integrazione)
- INFN- Perugia (studi di simulazione e sistemi di raffreddamento)
- ENEA Casaccia (saldature EBW e laser)
- CERN
- IJCLab (LAPP)
- SLAC
- PSI
- DESY
- Strasburgo
- KEK
- BNL
- MIT
- Purdue

Risorse necessarie - Materiale, consumi, e attrezzature

Materiale per costruzione 4 beam pipes (berillio/Albemet e/o fibra di carbonio)	1 MEuro
Strumentazione, circuiti, pompe, sonde, materiale da laboratorio, chiller, scambiatori di calore	340 kEuro
Lavorazione delle camere presso ditte	200 kEuro
Servizi esterni, misure metrologiche e vibrazionali presso ditte qualificate	60 kEuro
Materiale per la costruzione del mockup di vertex detectors: fibre di carbonio e relativo taglio adattatori per il tunnel del vento, materiali di consumo, strumentazione per misure termo-fluidodinamiche e vibrazionali	250 kEuro
Contributo alla manutenzione del laboratorio di integrazione ai LNF	50 kEuro
Licenze SW (Autocad, Ansys, Comsol, ...)	100 kEuro
Missioni	100 kE
Contingenza	100 kE
TOTALE	2.2 ME

Risorse necessarie – Personale da reclutare

LNF

- **2 ingegneri meccanici** (2.5 anni): per progettazione camere, simulazioni di cooling, misure, rapporti con le ditte
- **1 ingegnere elettronico/elettrico/fisico** equivalente (2.5 anni) per la realizzazione dei sistemi di controllo, acquisizione dati, calcoli di impedenze, studio integrazione con la macchina
- **3 CTER** (2.5 anni) meccanici supporto tecnico per le misure e per i setup sperimentali,
- **1 PhD** student Fisica acceleratori Sapienza

Pisa

- **1 ingegnere meccanico** (2.5 anni) progettazione vertex
- **1 CTER** meccanico per supporto tecnico vertex

Perugia

- **1 ingegnere meccanico** (2.5 anni) per conti strutturali e termofluido dinamici

Totale: 5 ingegneri + 4 CTER + 1 PhD

Risorse necessarie - tabella riassuntiva

Richieste per espansione progetto	
Personale da reclutare	1.3 ME
Materiale e missioni	2.2 ME
Totale	3.5 ME