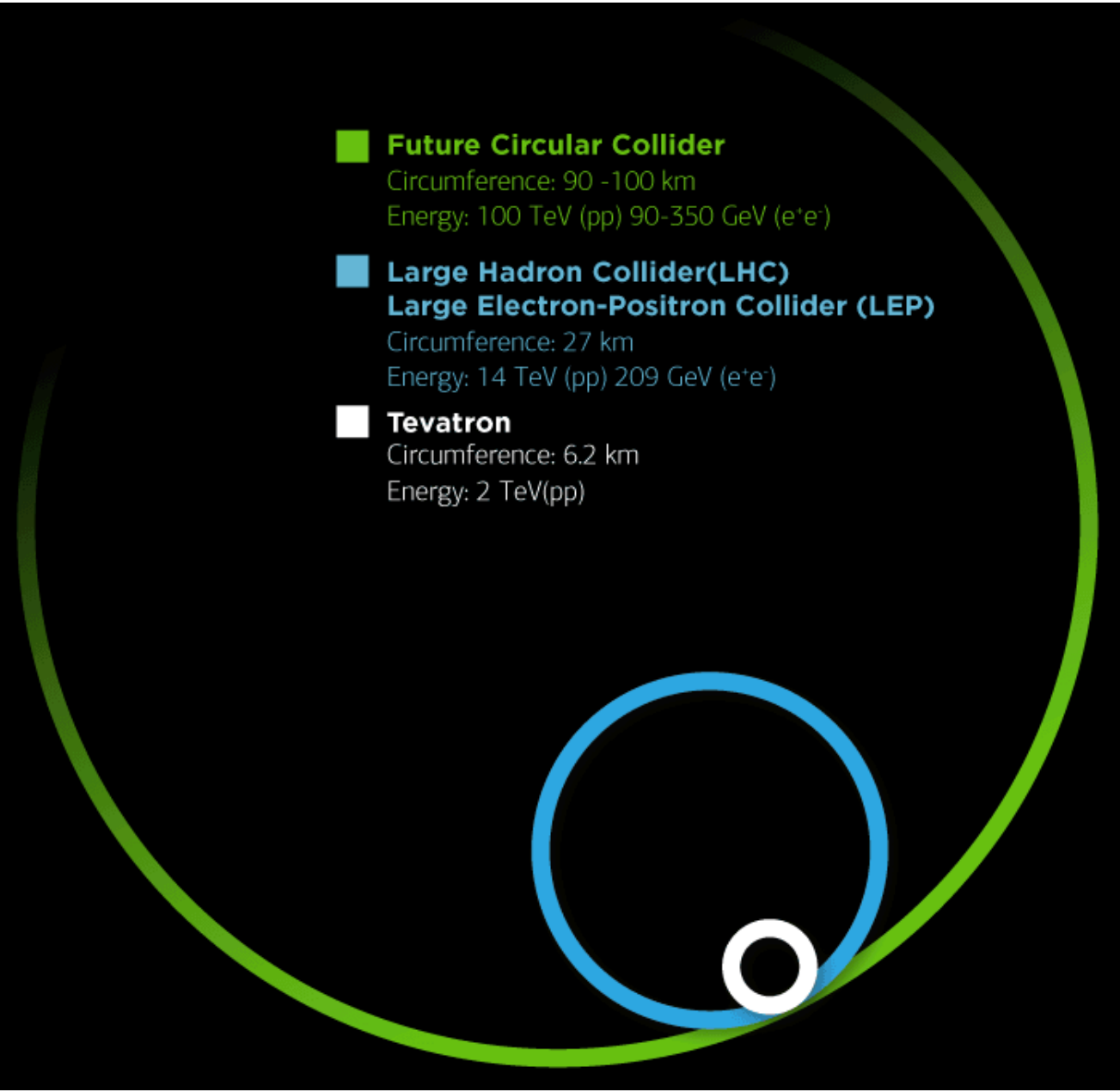


- 
- **Future Circular Collider**
Circumference: 90 -100 km
Energy: 100 TeV (pp) 90-350 GeV (e^+e^-)
 - **Large Hadron Collider(LHC)**
Large Electron-Positron Collider (LEP)
Circumference: 27 km
Energy: 14 TeV (pp) 209 GeV (e^+e^-)
 - **Tevatron**
Circumference: 6.2 km
Energy: 2 TeV(pp)

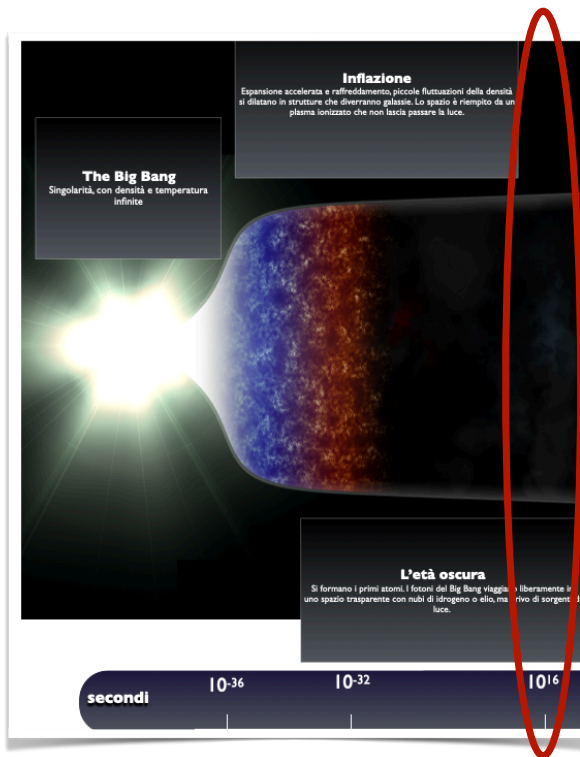
Future (Circular) Collider



Livio Fanò

per il gruppo FCC di Perugia

Alessandro Rossi, Arianna Morozzi, Claudia Cecchi, Cristiano Turrioni, Daniele Passeri, David Buitrago, Elisa Manoni, Fabrizio Napolitano, Francesco Brizioli, Francesco Moscatelli, Gabriele Martelli, Gian Mario Bilei, Giorgio Baldinelli, Mauro Piccini, Monica Pepe, Orlando Panella, Patrizia Cenci, Pisana Placidi, Sehar Ajmal, Stefano Moneta, Valentina Mariani, Viacheslav Duk



$10^{-10} - 10^{-12}$ s $\rightarrow$ LEP collider (e^+e^-) $\rightarrow$ 1989 - 2000

$10^{-12} - 10^{-14}$ s $\rightarrow$ LHC collider (hh) $\rightarrow$ 2008 - 2026

HL-LHC collider (hh) $\rightarrow$ 2029 - 2040

$10^{-16} - 10^{-18}$ s $\rightarrow$ prossima frontiera $\rightarrow$ >2040

Due leve sperimentali:

- 1) maggiore energia - osservazione diretta
- 2) maggiore luminosità - fenomeni rari con alta sensibilità a NP

Motivazioni

Instabilità del Vuoto Elettrodebole: Il Modello Standard predice che il potenziale dell'Higgs potrebbe essere instabile ad energie elevate, il che significa che il vuoto dell'universo potrebbe non trovarsi nel suo stato di energia più bassa.

Materia Oscura: Il Modello Standard non spiega la materia oscura, che osserviamo attraverso i suoi effetti gravitazionali. La natura della materia oscura rimane uno dei più grandi misteri dell'astrofisica e della fisica delle particelle

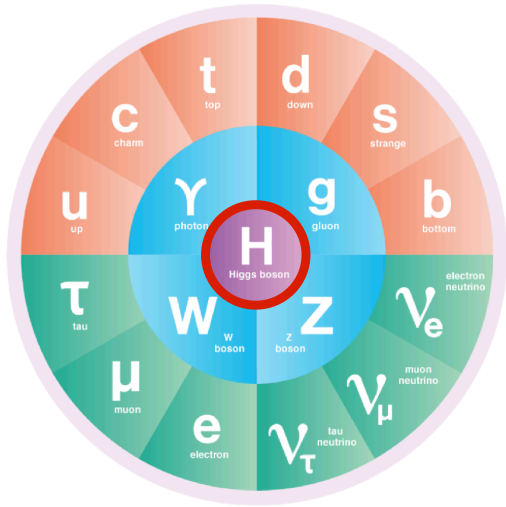
Asimmetria Barionica: Il modello CKM, che descrive come i quark si mescolano e decadono, non spiega perché l'universo contiene più materia che antimateria. Questa asimmetria tra materia e antimateria è uno dei puzzle fondamentali della cosmologia e della fisica delle particelle.

Masse dei Neutrini: Il Modello Standard assume che i neutrini siano privi di massa, il che contraddice le evidenze sperimentali. Sappiamo dalle oscillazioni dei neutrini che hanno masse diverse da zero, ma il Modello Standard non fornisce un meccanismo per questo.

Problema della Gerarchia: La massa dell'Higgs riceve grandi correzioni quantistiche a causa delle sue interazioni con altre particelle, il che porta al "problema della gerarchia" sul perché la massa dell'Higgs sia molto più leggera di quanto suggerirebbero le correzioni quantistiche.

Inflazione Cosmologica: Il Modello Standard non fornisce un meccanismo per l'inflazione cosmologica, che è l'espansione rapida dell'universo nei primi istanti dopo il Big Bang. L'inflazione è necessaria per spiegare l'uniformità su larga scala del cosmo, tra le altre cose.

Gravità: Infine, il Modello Standard non incorpora la gravità. Abbiamo bisogno di una teoria che unifichi la meccanica quantistica con la gravità, specialmente a scale molto piccole come quelle vicino ai buchi neri o all'inizio dell'universo.



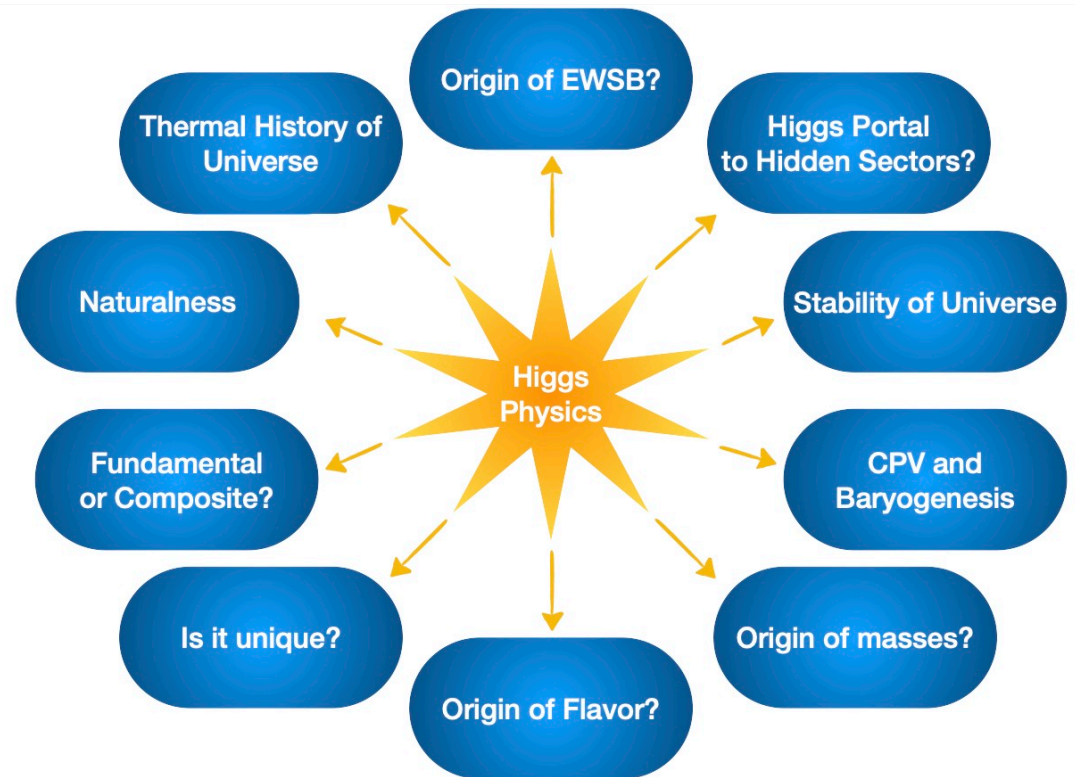
typeset from Gian Giudice original

Almost every problem of the Standard Model originates from Higgs interactions

$$\mathcal{L} = y H \psi \bar{\psi} + \mu^2 |H|^2 - \lambda |H|^4 - V_0$$

$\uparrow$ flavour $\uparrow$ naturalness $\uparrow$ stability $\uparrow$ cosmological constant

Possiamo però contare sul ruolo del settore EW, forti dell'osservazione del bosone di Higgs



Oggi

LHC -> LHC superluminoso (HL-LHC)



Diversi motivi per estendere il programma di ricerca di HL-LHC

HL-LHC permette di sfruttare l'infrastruttura attuale di accelerazione, con modifiche non sostanziali. Stessa energia, luminosità molto maggiore

Si apre uno scenario di caratterizzazione in precisione del settore EW, per la prima volta con una macchina adronica. limitato potenziale di scoperta diretta

Nuove infrastrutture per il post HL-LHC per estendere la frontiera della conoscenza

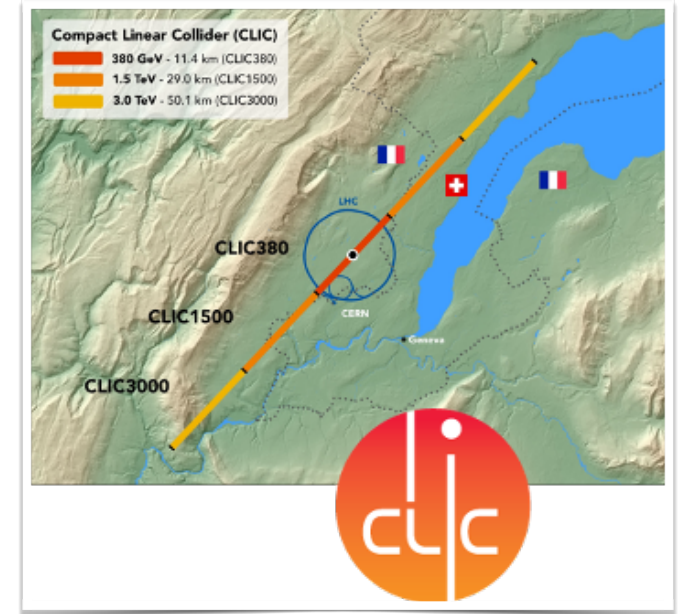
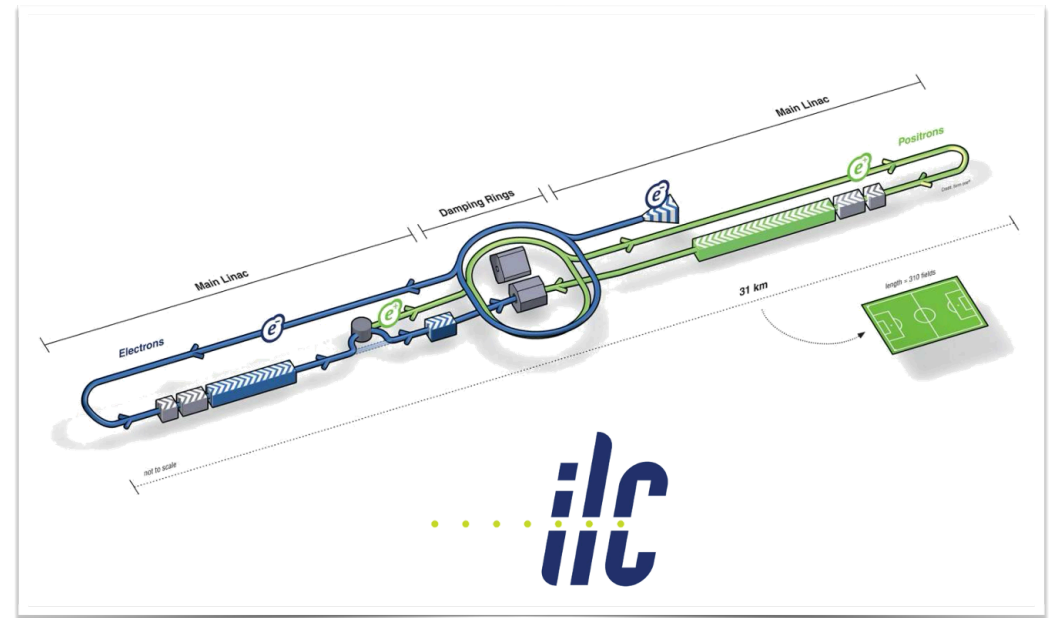
Nuove tecnologie e studi di fattibilità

Tecnologia	EU	China	US	JP	Prob
Acceleratori lineari	X			X	bassa
Acceleratori circolari elettromagnetici	X	X			alta
Acceleratori circolari muonici	X		X		bassa
Acceleratori circolari adronici	X	X			media

	Lineare	Circolare
energia	flessibile ma limitata	alta
focalizzazione	maggiore	minore
polarizzazione	più efficiente	meno (~falso)
costi	maggiore	minori
dimensioni	grande	compatto

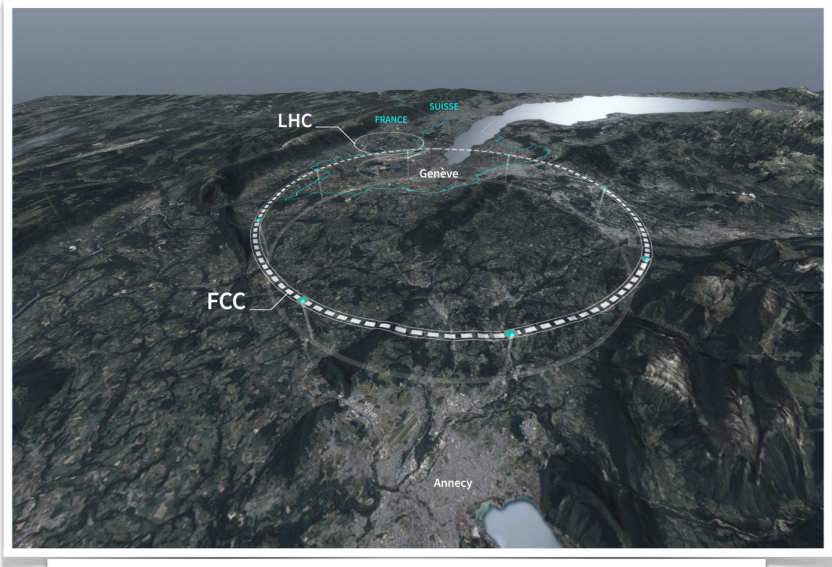
Nuove tecnologie e studi di fattibilità

Tecnologia	EU	China	US	JP	Prob
Acceleratori lineari	X			X	bassa
Acceleratori circolari elettromagnetici	X	X			alta
Acceleratori circolari muonici	X		X		bassa
Acceleratori circolari adronici	X	X			media



Nuove tecnologie e studi di fattibilità

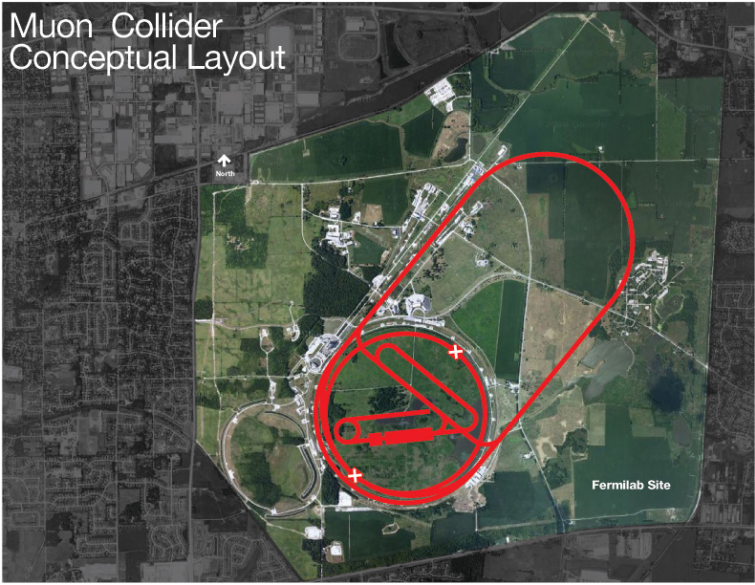
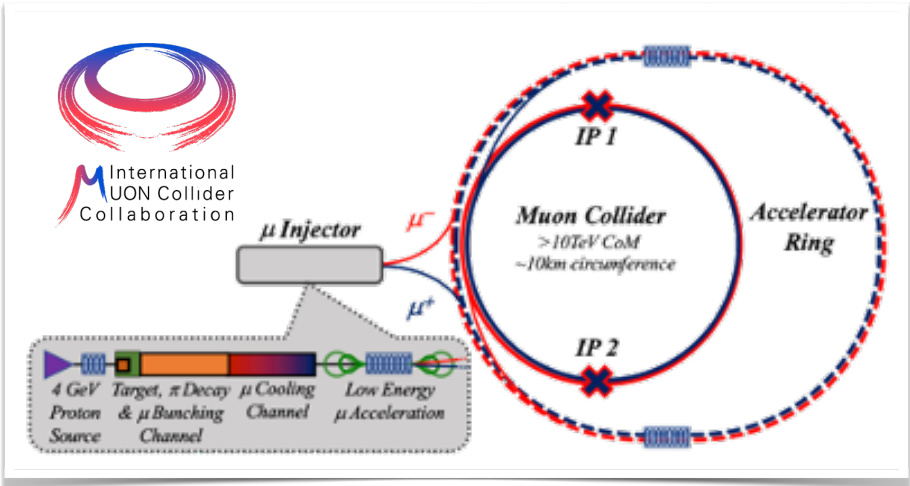
Tecnologia	EU	China	US	JP	Prob
Acceleratori lineari	X			X	bassa
Acceleratori circolari elettromagnetici	X	X			alta
Acceleratori circolari muonici	X		X		bassa
Acceleratori circolari adronici	X	X			media



CEPC/SppC

Nuove tecnologie e studi di fattibilità

Tecnologia	EU	China	US	JP	Prob
Acceleratori lineari	X			X	bassa
Acceleratori circolari elettromagnetici	X	X			alta
Acceleratori circolari muonici	X		X		bassa
Acceleratori circolari adronici	X	X			media



Il progetto FCC-ee costituisce ad ora la scelta ottimale

Ha un più ampio potenziale di ricerca

La tecnologia di realizzazione è disponibile su una scala temporale breve

Costi ridotti e distribuiti in un periodo di tempo lungo

Vasta comunità a supporto del progetto

Altre condizioni al contorno

Eu Strategy for Particle Physics 2020 - Feasibility study

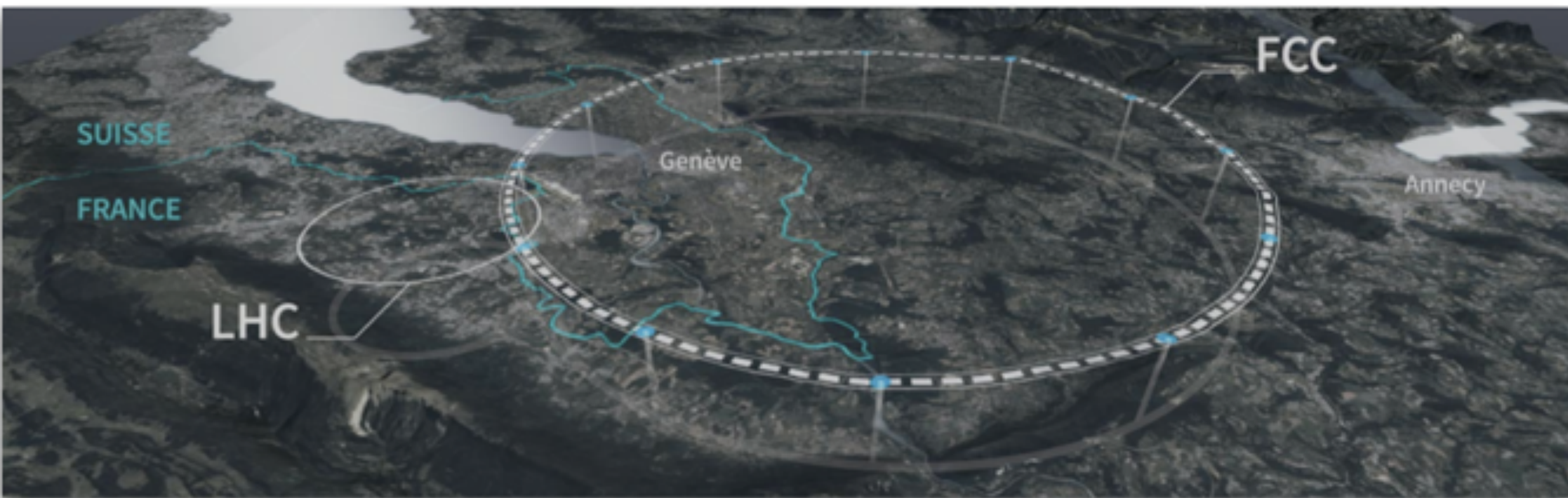
CERN

- + Feasibility study di FCC completato
- + Conferma del ruolo strategico di FCC per il CERN

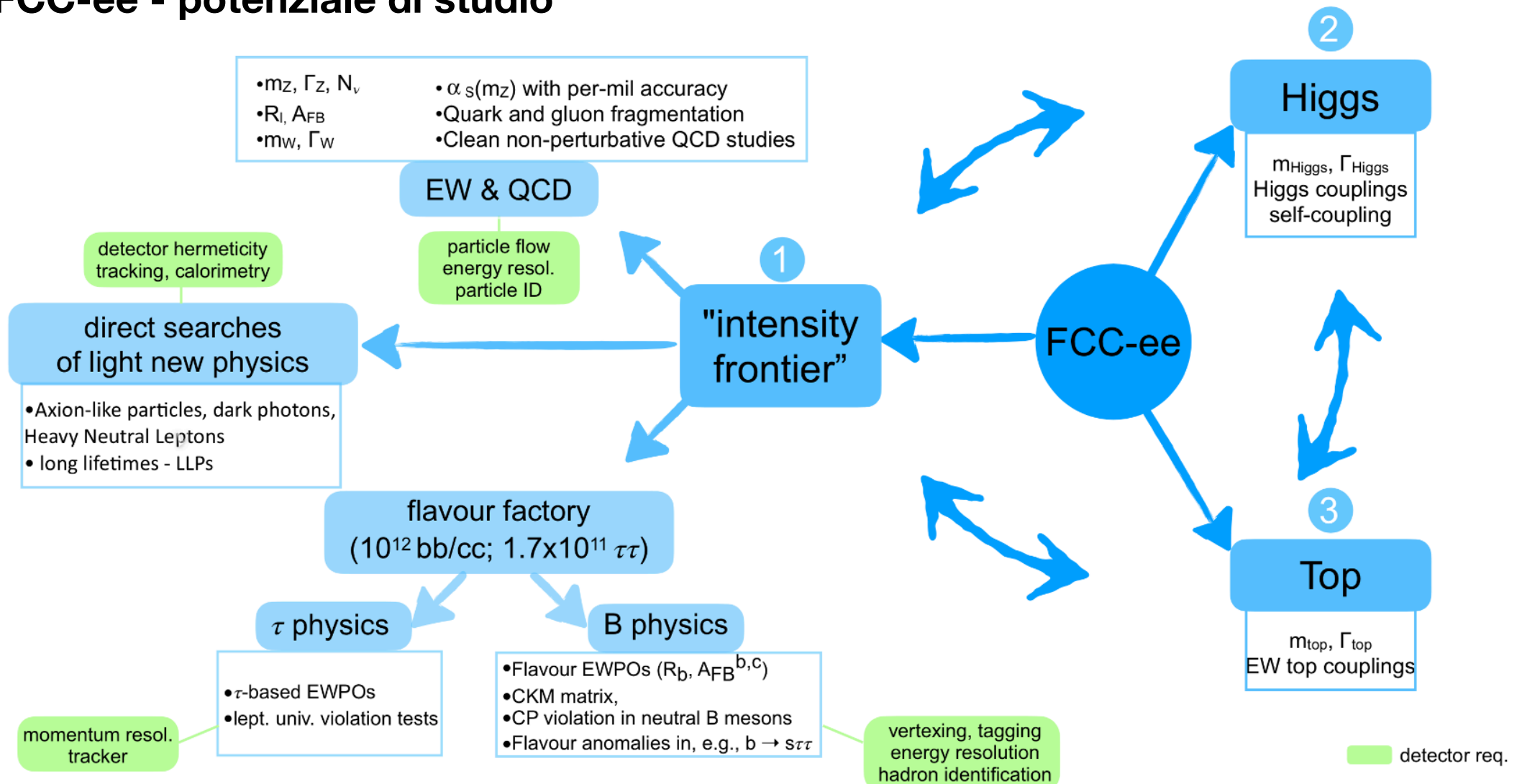
Rapporto **Draghi** sulla strategia di sviluppo europea (CERN unica infrastruttura di ricerca nominata come leader mondiale, FCC come progetto prioritario)

Rapporti con lo sviluppo in **Cina**

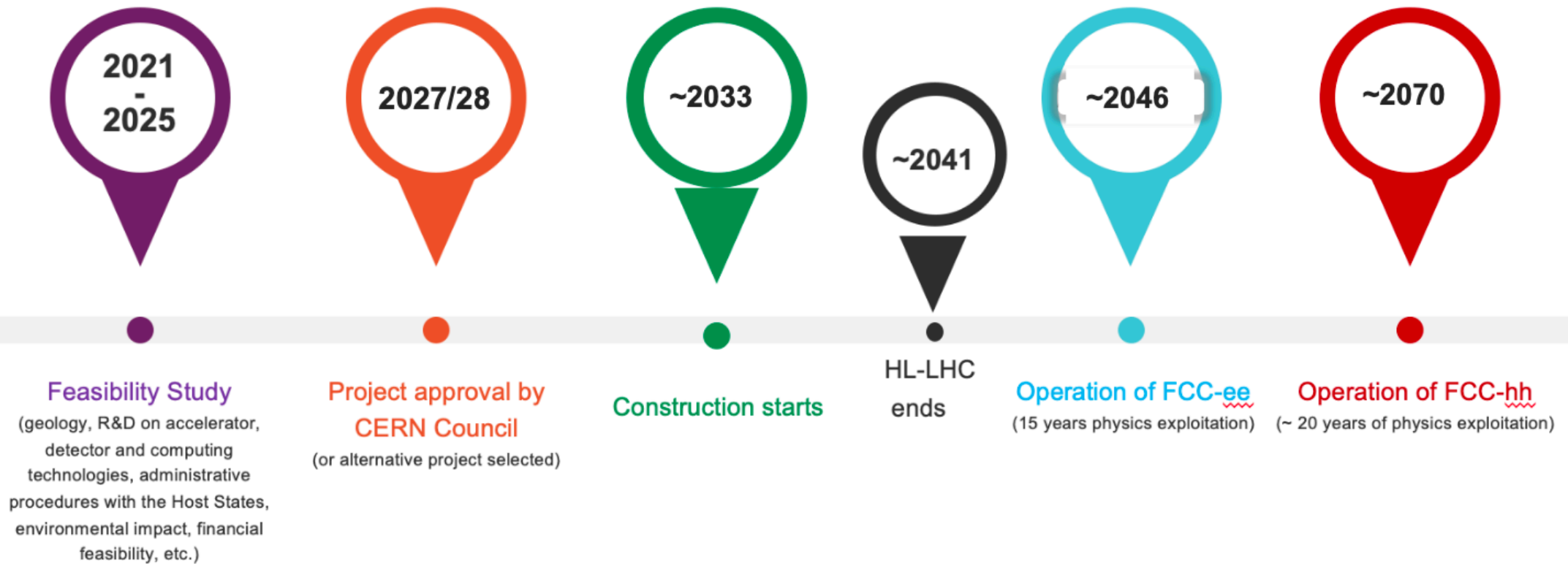
US supporta FCC al CERN



FCC-ee - potenziale di studio



Scala temporale di realizzazione



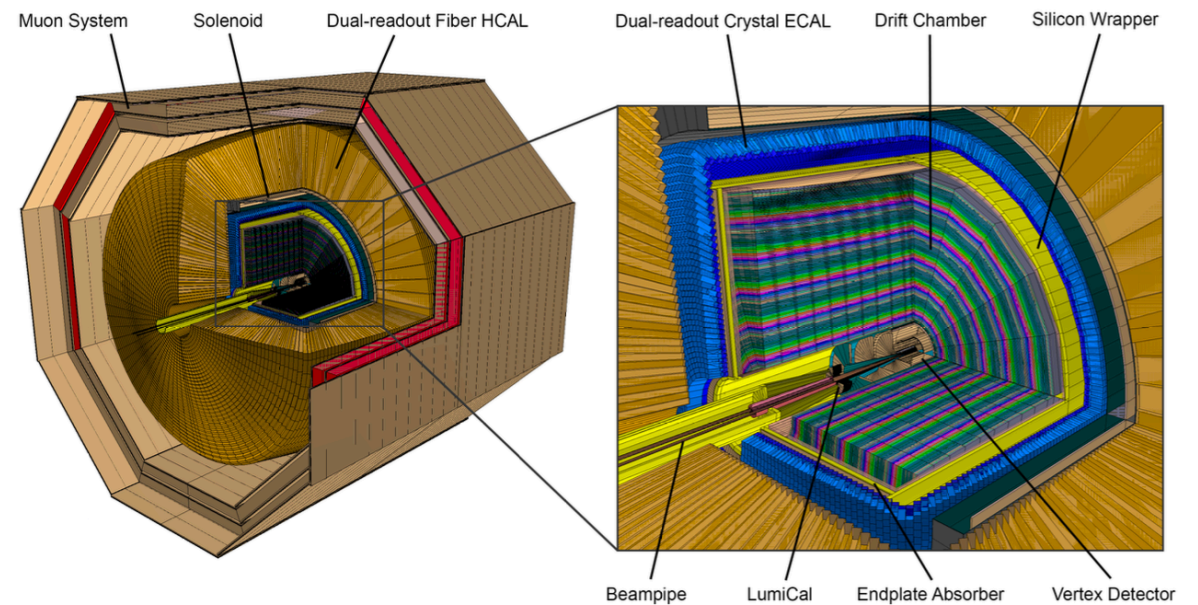
Quale rivelatore?

The IDEA detector concept for FCC-ee

The IDEA Study Group*

Abstract

A detector concept, named IDEA, optimized for tions at the FCC-ee is presented. After discussing t and the main physics drivers, a detailed descr detectors is given. These include: a very light tra vertex detector inside a large drift chamber surro high resolution dual readout crystal electromagne superconducting solenoid, a dual readout fiber c muon chambers embedded in the magnet flux retu expected detector performance, based on fast and



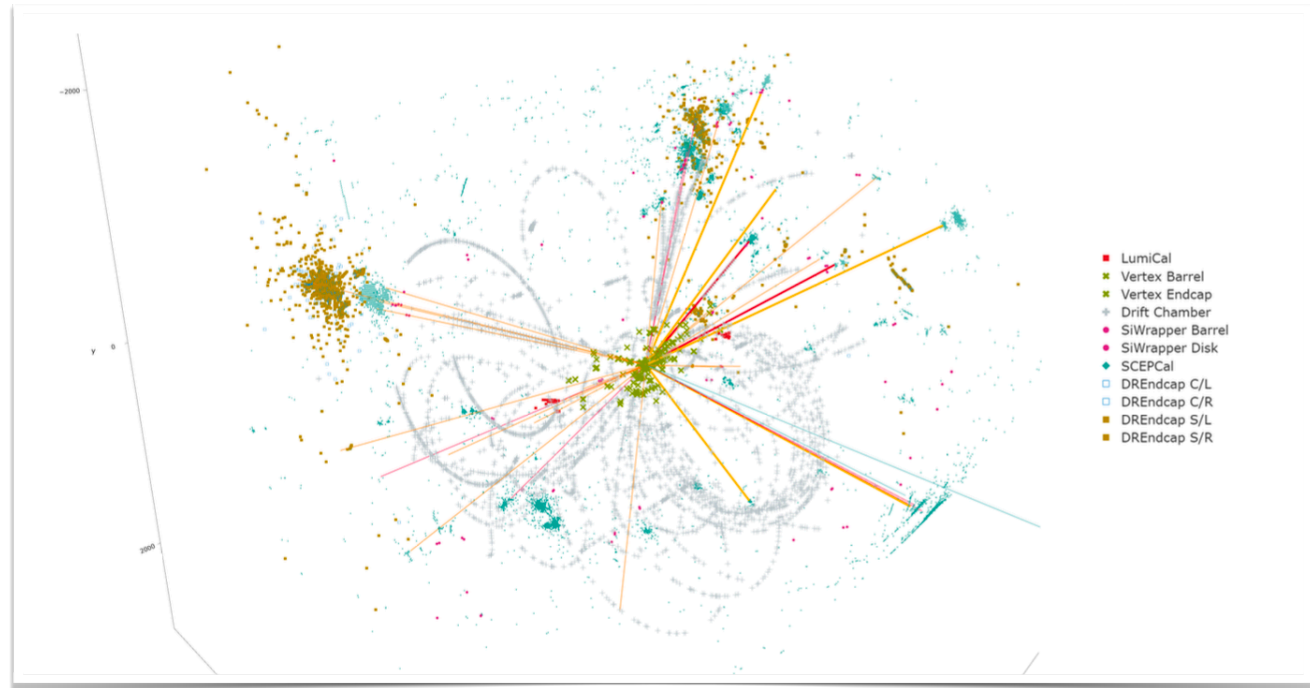
Sistema di tracciamento molto leggero con un potente rivelatore di vertici interno e una grande camera a deriva

un calorimetro elettromagnetico a cristalli ad alta risoluzione con dual readout

Silicon wrapper per le misure 4D

un solenoide superconduttore basato su HTS

3 layer di camere a muoni alloggiate nel giogo di ritorno del flusso magnetico.



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

Perugia

1) Meccanica/Cooling - vertice e interfaccia alla macchina - raffreddamento

2) Sensori - LGAD (timing)

3) Calorimetri - dual readout

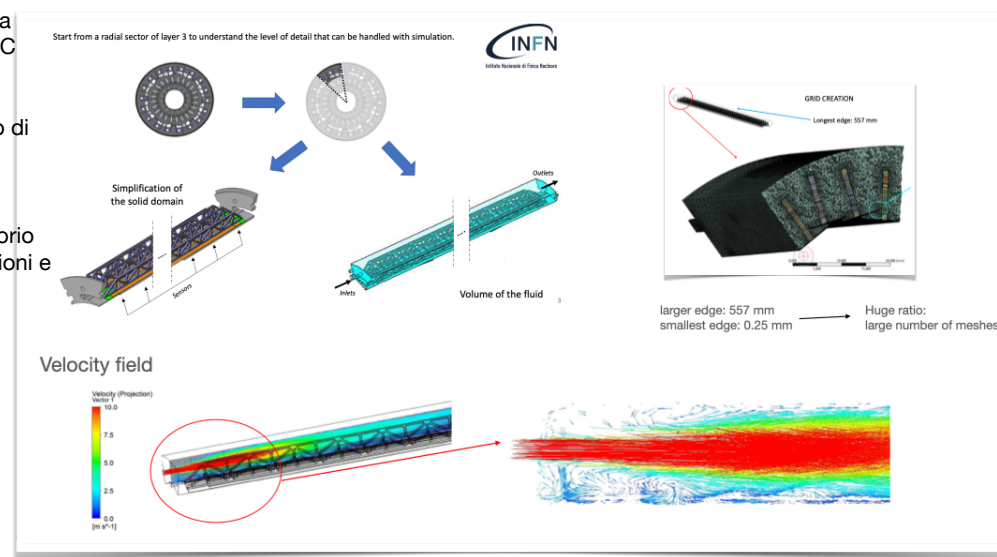
4) Software - track

5) Studi Pheno - Higgs lepton search

su questa attività c'è una richiesta, discussa in FCC

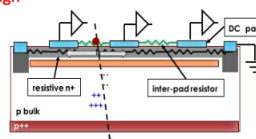
10 keu
acquisto di uno strumento di misura
ULABO FP89-ME

allestimento di un laboratorio destinato agli studi, simulazioni e analisi termiche

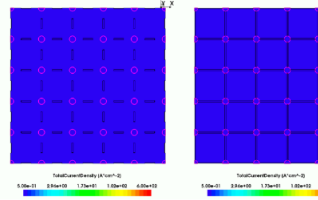
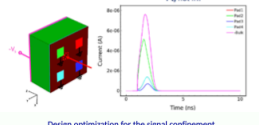


LGAD sensor design evolution for FCC

- ✓ FCC-ee/FCC-hh → Surface damage (extreme doses)
- ✓ DC-RSD in FC-ee for 4D tracking
- ✓ Emerging technology for 4D tracking to combine time and space resolution
- ✓ Position resolution <10 μm even with large pixel
- ✓ Material budget – thin sensors (< 50 μm)
- ✓ Large area investigation
- ✓ Optimized pad design



full 3D TCAD simulation to characterize the device behavior in terms of response after the passage of e.g. a minimum ionizing heavy ion



Radiation damage effects in FCC

- ✓ Develop of numerical Technology-CAD (TCAD) models to account for the radiation damage effects in silicon sensors
- ✓ FCC-ee → Surface damage (extreme doses)
- ✓ GOAL: General purpose SURFACE TCAD model (not over specific for a device application) for high doses
- ✓ FC-hh → Bulk + Surface (extreme fluences >1e17 1MeV neq/cm2)
- ✓ GOAL: General purpose BULK+SURFACE TCAD model for extreme fluences
- ✓ Accounting for: saturation effects, Impact ionization, Carriers mobility, Traps dynamics.
- ✓ Extension of LGAD radiation hardness to extreme fluences:
- ✓ new paradigm of the gain layer to compensate the acceptor removal mechanism which limit its charge carrier multiplication property

Funded related projects
4DShare project CSN5
4Dinside PRIN2017
AidaiInnova (EXFLU-innova Blue Sky R&D)

Perugia

1) Meccanica/Cooling - vertice interfaccia alla macchina - raffreddamento

3) Sensori - LGAD (timing)

4) Calorimetri - dual readout

5) Software - tracking

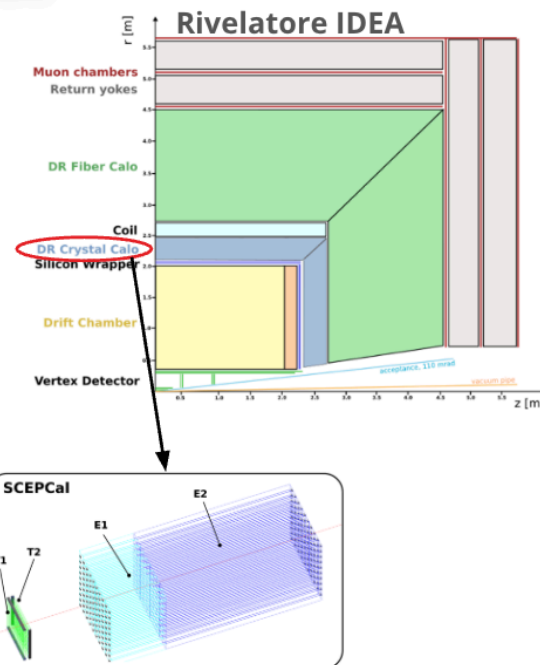
6) Studi Pheno - Heavy neutral leptons search

Calorimetro a cristalli dual-readout

Valutare il potenziale e la fattibilità di un **calorimetro elettromagnetico omogeneo ad alta granularità e con dual-readout**.

Attività a 360 gradi:

- **Simulazioni**
- **R&D** per la tecnologia e la dimostrazione del dual-readout
- **Realizzazione di un prototipo** e sua caratterizzazione



Segmented Crystal Electromagnetic Precision Calorimeter

Perugia

1) Meccanica/Cooling - vertice e interfaccia alla macchina - raffreddamento

3) Sensori - LGAD (timing)

4) Calorimetri - dual readout

5) Software - tracking

6) Studi Pheno - Heavy neutral leptons search

- **Studi fondo macchina:** background derivante dall'interazione e^+e^-
 - Non ci sono stime al momento sull'impatto che ha sulla fisica, atteso non trascurabile
- **Tracking:** tracker di IDEA è costituito da inner tracker (pixel silicio) + camera a drift + wrapper silicio esterno => occorre sviluppare algoritmo in key4hep per fare tracciamento
- **PiD e Energy Flow**

Attività non ancora concreta:

Studio del framework software FCC (workshop e tutorial)

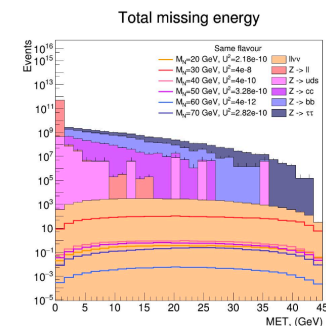
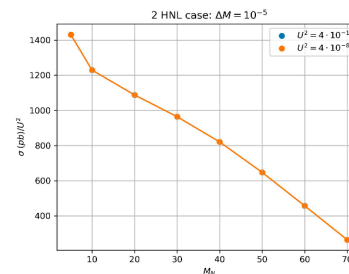
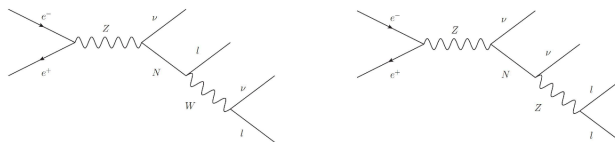
L'idea è di partire con un contributo concreto allo sviluppo del tracking in IDEA (geometria, simulazione, ricostruzione...)

Heavy neutral leptons (HNLs) search in a realistic neutrino oscillation model at FCC-ee

Tesi magistrale di Sofia Giappichini, data di conseguimento: 28/09/2023

Persone coinvolte: Orlando Panella, Matteo Presilla, Sehar Ajmal e Roberto Franceschini (Roma 3)

Il lavoro si basa sugli studi fatti dal gruppo FCC-ee LLP per studiare la sensitività di FCC ad eventi di HNLs, seguendo il modello see-saw di tipo I per la generazione della massa dei neutrini.



proposte di studio, alcuni esempi

Fisica/
Simulazioni

- **caratterizzazione decadimento $W \rightarrow D^+ s \gamma$**
 - tesi triennale / magistrale
 - Referente: Valentina Mariani
 - Uso fast simulation disponibile di FCC per caratterizzare questo decadimento radiativo raro ($BR \sim 10^{-9}$) del W .
- **caratterizzazione decadimento $Z \rightarrow D^0 \gamma$**
 - tesi triennale / magistrale
 - Referente: Valentina Mariani
 - Uso fast simulation disponibile di FCC per caratterizzare questo decadimento radiativo raro ($BR \sim 10^{-9}$) dello Z .

Sensoristica/
Meccanica

- **Sviluppo di un prototipo di calorimetro a cristalli dual-readout per FCC.**
 - tesi triennale / magistrale
 - Referente: Claudia Cecchi
 - Caratterizzazione del prototipo tramite test su fascio e simulazioni Geant4. Possibilità di integrare con misure in laboratorio.
- **Aeroelastic numerical analysis of lightweight tracking detector structures**
 - tesi magistrale
 - Referenti: Giorgio Baldinelli - Cristiano Turrioni
- **Lettura di matrici di sensori (32/64 canali) con schede di readout programmabili**
 - Tesi triennale / magistrale
 - Referente: Mauro Piccini

Perugia

Fisica

Ingegneria

Informatica/Matematica

