La misura dell'ignoranza

Dear Santa Claus,

We have been good these past decades. Please could you now bring us

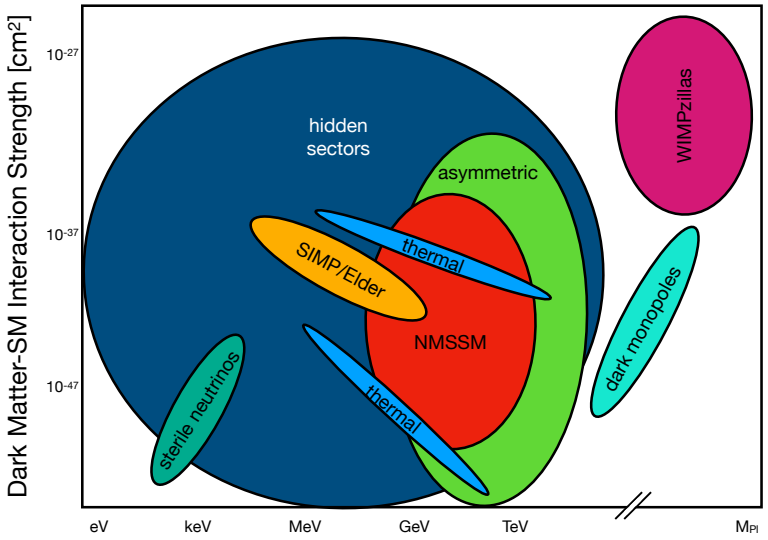
- *a dark matter candidate*
- *an explanation for the fermion masses*
- *an explanation of matter-antimatter asymmetry*
- *an axion, to solve the strong CP problem*
- *a solution to fine tuning the EW scale*
- *a solution to fine tuning the cosmological constant*

Thank you, Particle Physicists

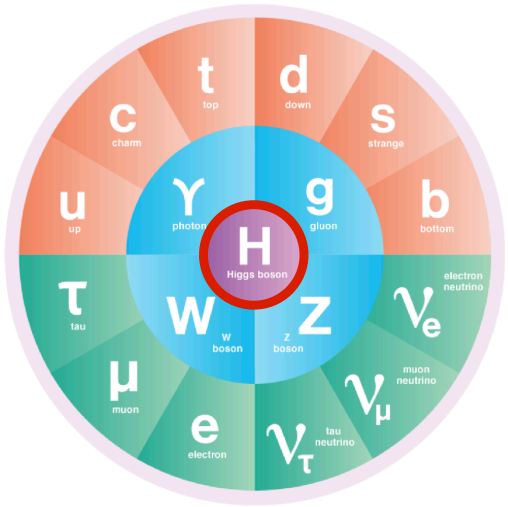
ps: please, no anthropics

30 orders of magnitude in interaction strength

Snowmass Dark Matter report, 2209.07426



30 orders of magnitude in mass



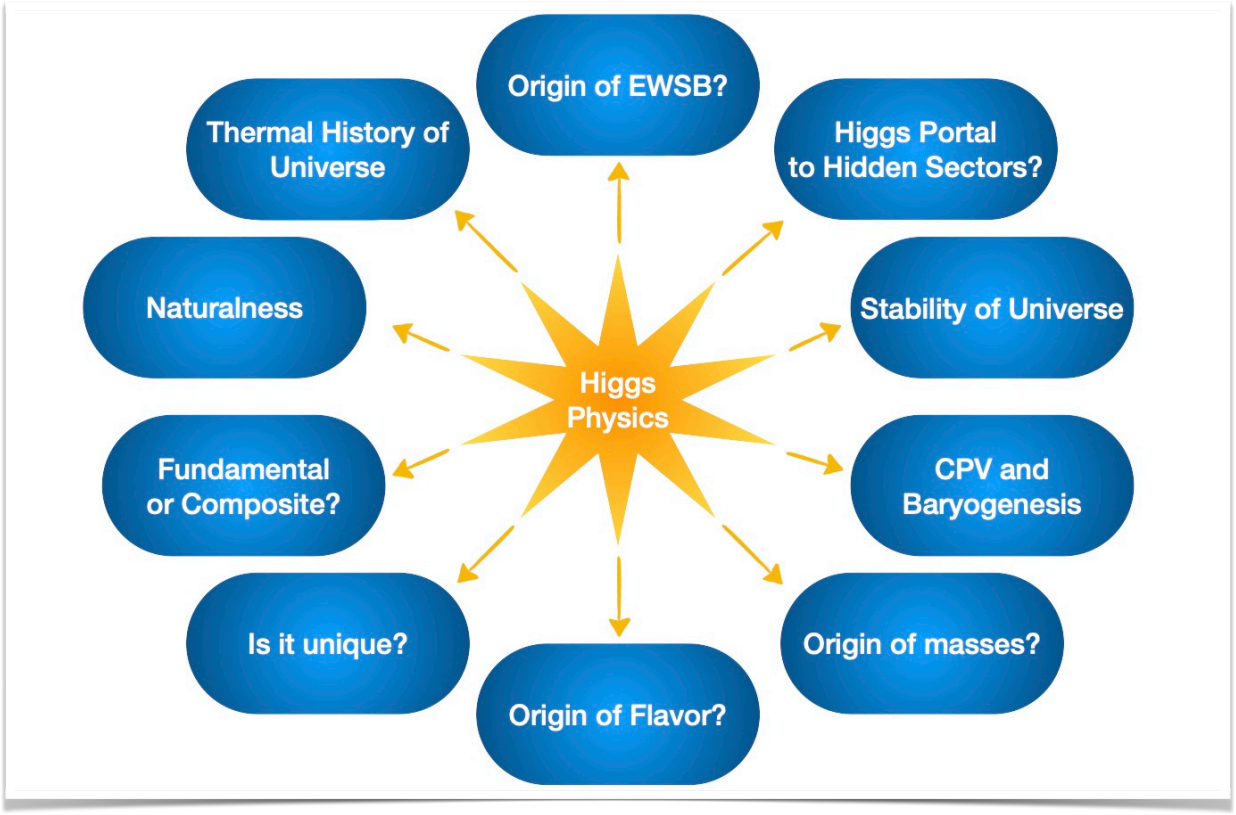
Possiamo però contare sul ruolo del settore EW, forti dell'osservazione del bosone di Higgs

typeset from Gian Giudice original

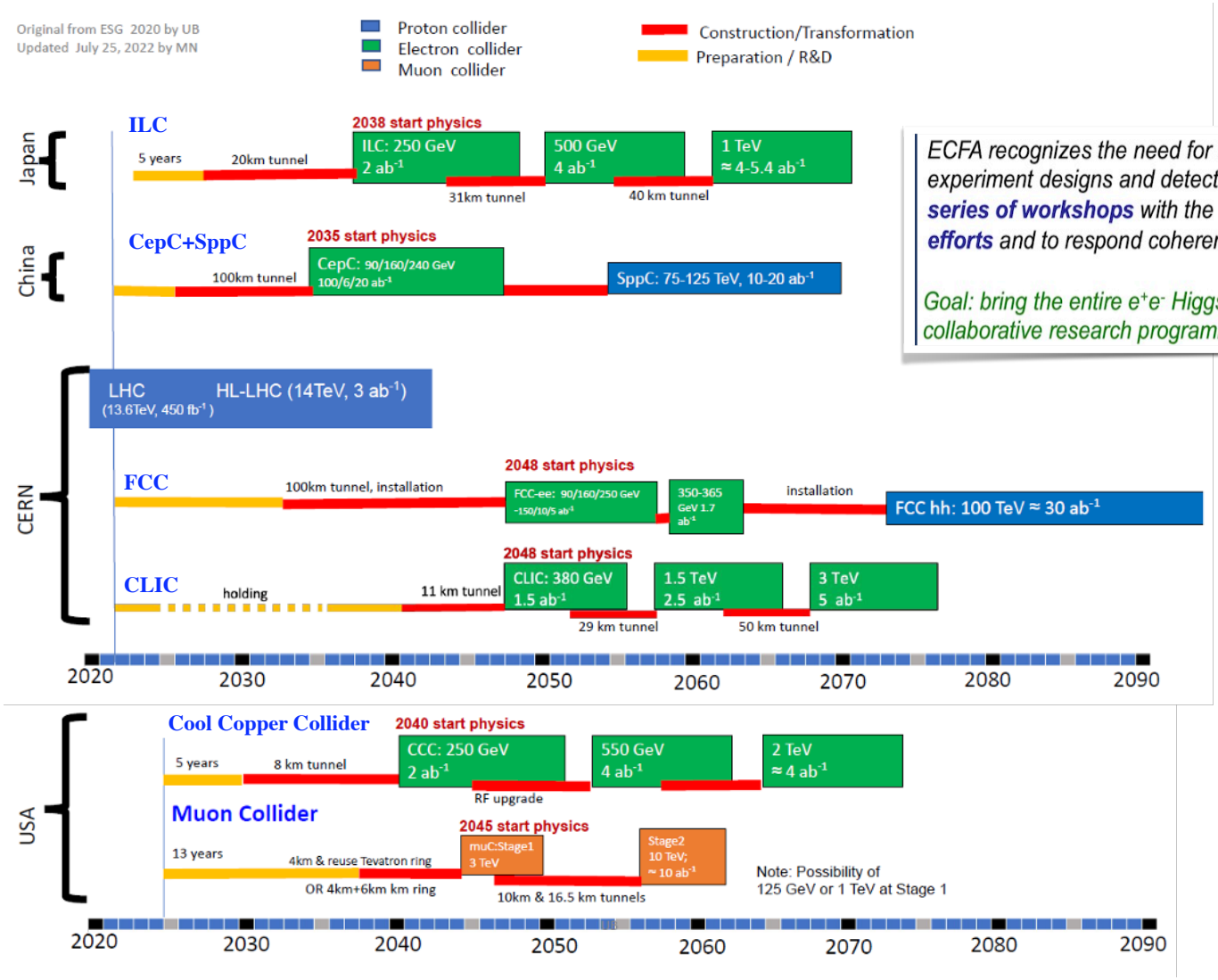
Almost every problem of the Standard Model originates from Higgs interactions

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

flavour *naturalness* *stability* *cosmological constant*



Superare i limiti di LHC e HL-LHC è ineluttabile



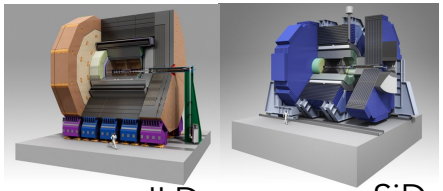
ECFA recognizes the need for the experimental and theoretical communities involved in physics studies, experiment designs and detector technologies at future Higgs factories to gather. ***ECFA supports a series of workshops*** *with the aim to* ***share challenges and expertise, to explore synergies in their efforts*** *and to respond coherently to this priority in the European Strategy for Particle Physics (ESPP).*

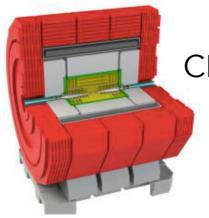
Goal: bring the entire e^+e^- Higgs factory effort together, foster cooperation across various projects; collaborative research programmes are to emerge

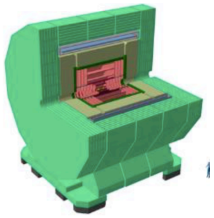
- *e^+e^- physics*

  models – generators – interpretations

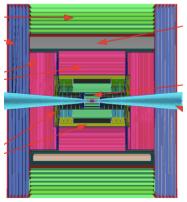
- *e^+e^- detector concepts – example*







CLD
for FCC-ee

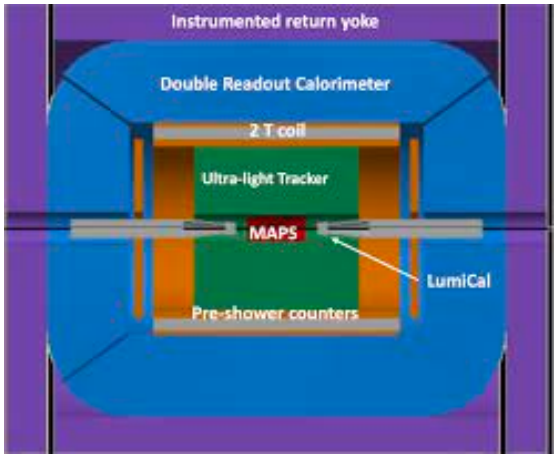


(CLICdet
adapted for
muon
collider!)

- *e^+e^- analysis tools – example*

Detector	Collider	SW name	SW status	SW future
ILD	ILC	iLCSoft	Full sim/reco	Key4hep
SiD	ILC	iLCSoft	Full sim/reco	
CLICdet	CLIC	iLCSoft	Full sim/reco	
CLD	FCC-ee	iLCSoft	Full sim/reco	
IDEA	FCC-ee	FCC-SW	Fast sim/reco	
IDEA	CEPC	FCC-SW	Fast sim/reco	
CEPCbaseline	CEPC	iLCSoft branch-off	Full sim/reco	

Indipendente (FCC e CepC)



IDEA detector
for FCC-ee

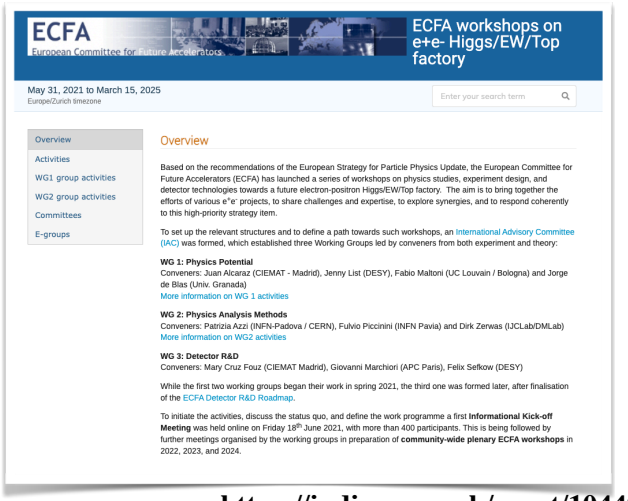
ECFA

Goal: bring the entire e^+e^- Higgs factory effort together, foster cooperation across various projects; collaborative research programmes are to emerge

- ***International Advisory Committee (IAC)***
  broad representation across the collider community:

Alain Blondel (Geneva)	Tadeusz Lesiak (Krakow)
Jean-Claude Brient (Paris LLR)	Chiara Meroni (Milano)
Patricia Conde Muino (IST/LIP)	Joachim Mnich (CERN)
Didier Contardo (IN2P3),	Aleandro Nisati (Rome I)
Mogens Dam (Copenhagen NBI)	Aidan Robson (Glasgow)
Juan Fuster (Valencia)	Frank Simon (Munich MPP)
Jorgen D'Hondt (VU Brussel)	Steinar Stapnes (CERN)
Christophe Grojean (DESY)	Roberto Tenchini (Pisa)
Karl Jakobs (Freiburg, Chair)	Guy Wilkinson (Oxford)
Patrick Janot (CERN)	Andrea Wulzer (Lausanne)
Max Klein (Liverpool)	

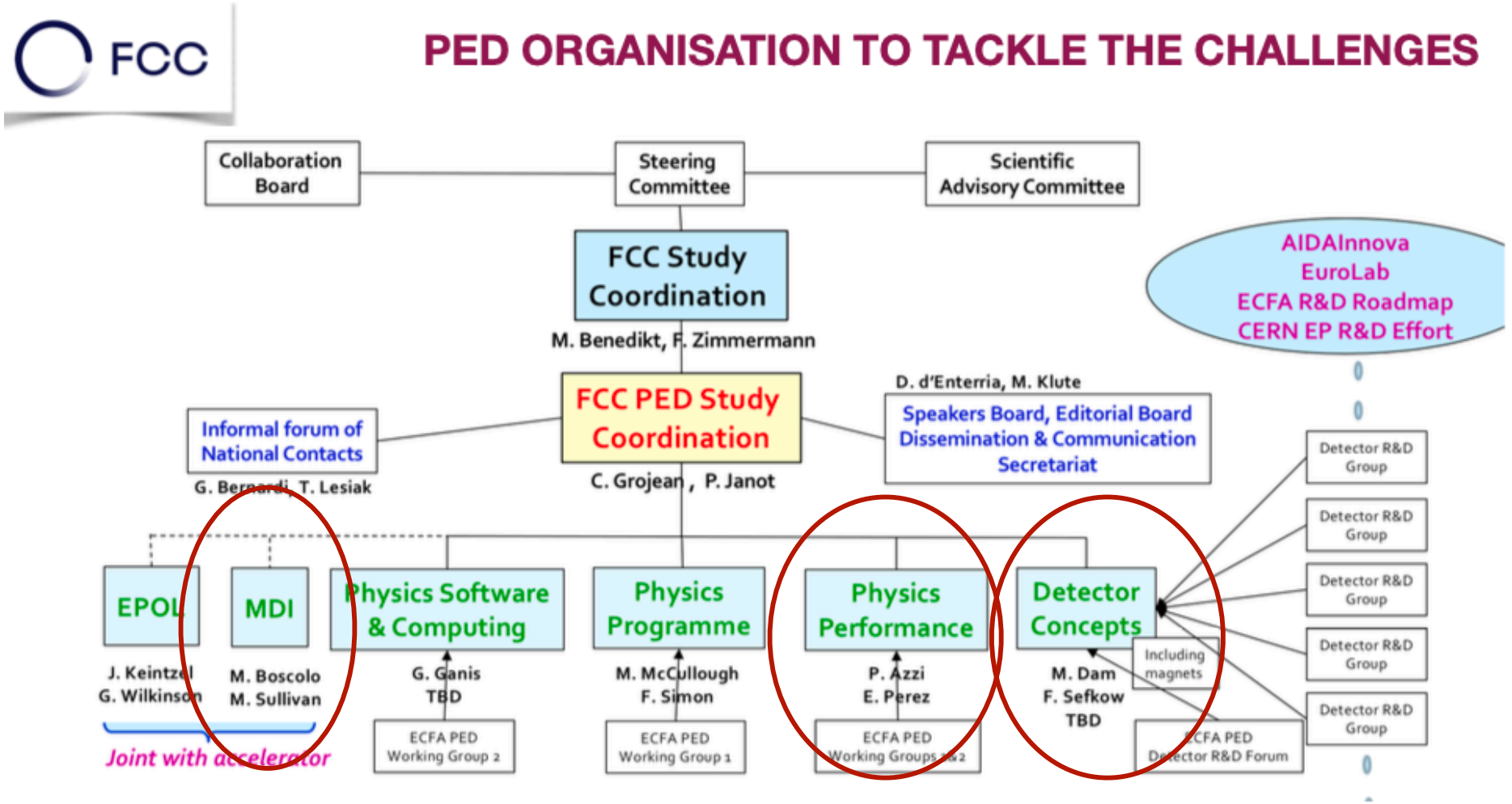
– **e^+e^- circular / e^+e^- linear / LHC / detector technologies / theory**



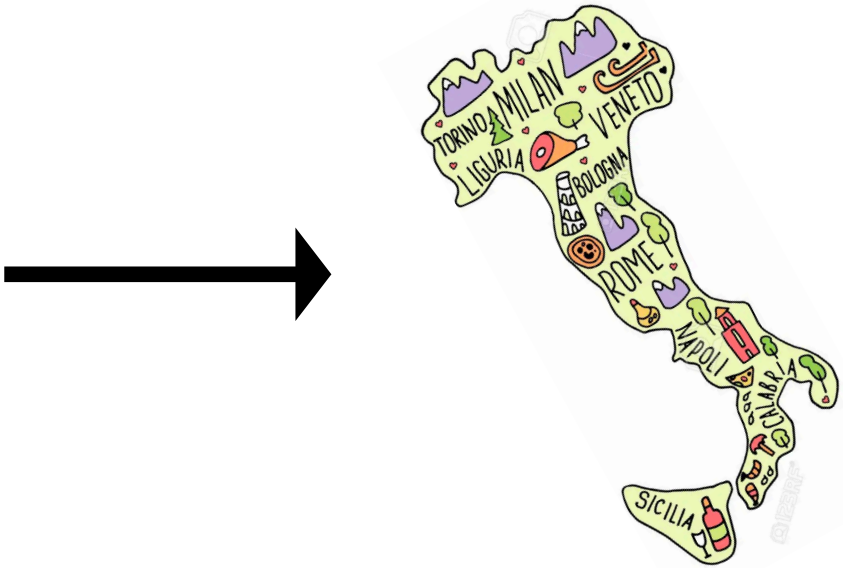
https://indico.cern.ch/event/1044297/page/22669-overview

- WG1: **Physics programme** coordinators Fabio Maltoni, Jenny List, Jorge de Blas, Juan Alcaraz
- WG2: **Physics analysis methods** coordinators Patrizia Azzi, Fulvio Piccinini, Dirk Zerwas
- WG3: **Detector technologies** coordinators Felix Sefkow, Mary Cruz Fouz, Giovanni Marchiori

da ECFA a FCC



PED = physics, experiment and detectors


TORINO
MILAN
VENETO
LIGURIA
BOLOGNA
ROME
NAPOLI
CALABRIA
SICILIA

Organizzazione INFN

WP1

WP1 – PHYSICS AND SOFTWARE

Conveners: Patrizia Azzi (INFN-PD), Nicola De Filippis(BA)

WP2

WP2 – ACCELERATORS

Conveners: Manuela Boscolo (LNF)

WP3

WP3 – SILICON VERTEX DETECTOR

Conveners: Attilio Andreazza (UniMI), Massimo Caccia (UniMI)

WP4

WP4 – DRIFT CHAMBER

Convener: Franco Grancagnolo (INFN-LE)

WP5

WP5 – DUAL READOUT CALORIMETER

Convener: Roberto Ferrari (INFN-PV)

WP6

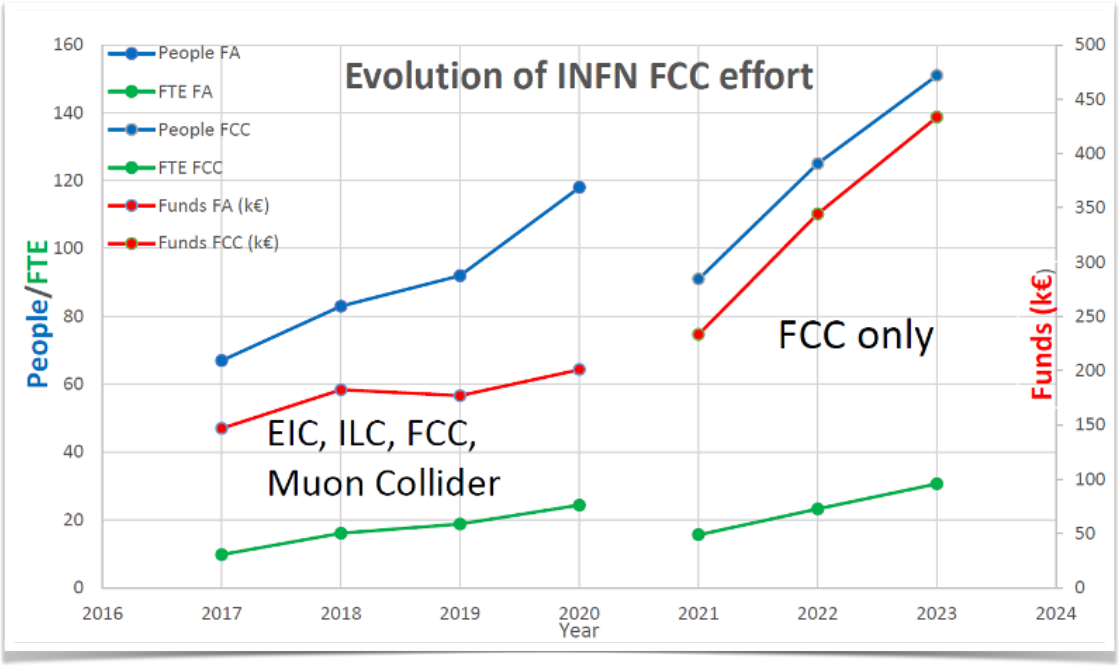
WP6 – MPGD FOR MUON AND PRESHOWER

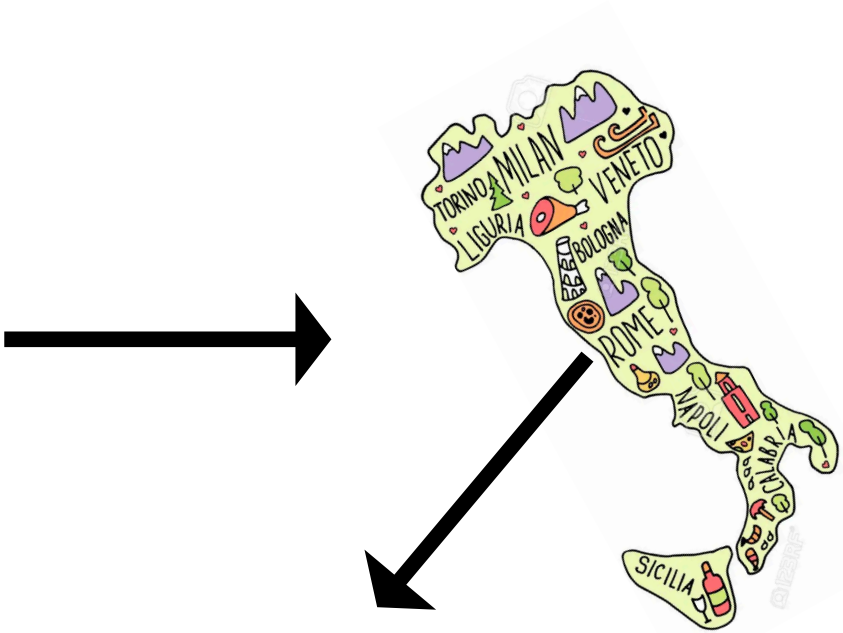
Convener: Paolo Giacomelli (INFN-BO)

La comunità italiana è molto attiva:

- sviluppo detector - IDEA
- simulazione / ricostruzione
- analisi su canali di interesse specifici

https://web.infn.it/RD_FCC/




TORINO
MILAN
VENETO
LIGURIA
BOLOGNA
ROME
NAPOLI
CALABRIA
SICILIA

dicembre 2022 - workshop INFN su FCC, Milano

febbraio 2023 - riunione del Gruppo1 di Perugia per innescare la discussione con tutte le sigle locali

febbraio-giugno 2023

Attività seminariale specifica

- Future Circular Collider (Boscolo)
- A Detector Concept Optimized for FCC-ee (Bedeschi)
- Physics Opportunities @ Future Circular Collider (Azzi)
- Towards a multi-TeV Muon Collider (Pastrone)

Scouting dei gruppi di R&D e software maggiormente interessati alle attività FCC-INFN, principalmente dove:

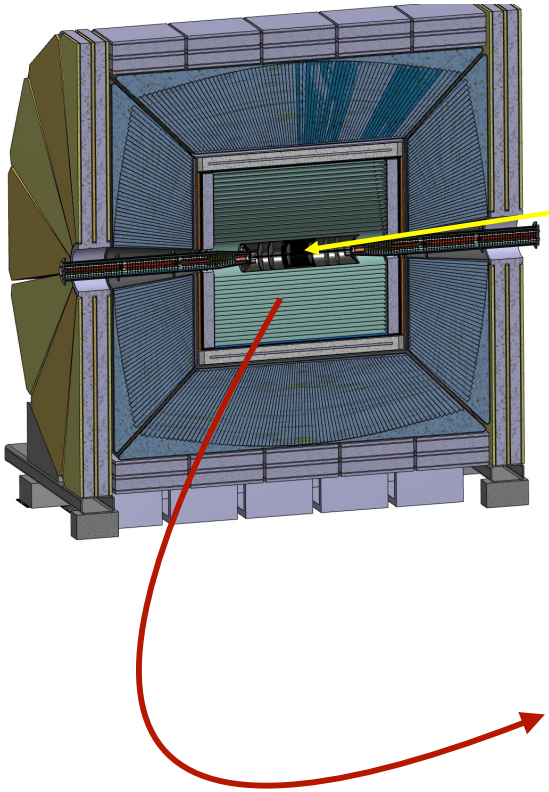
- attività di R&D in corso sono più facilmente proiettabili verso FCC (AIDAINNOVA principalmente)
- dove esiste un interesse specifico ad investigare la preparazione di FCC-ee

3 attività si stanno delineando con stato di avanzamento diverso:

1) Meccanica/Cooling - vertice e interfaccia alla macchina - raffreddamento
2) Elettronica e sensori - LGAD (timing) e caratterizzazione CMOS per inner vertex
3) Software - tracking

Arianna Morozzi
Cristiano Turrioni
Daniele Passeri
Francesco Moscatelli
Gian Mario Bilei
Giorgio Baldinelli
Livio Fanò
Pisana Placidi
Valentina Mariani

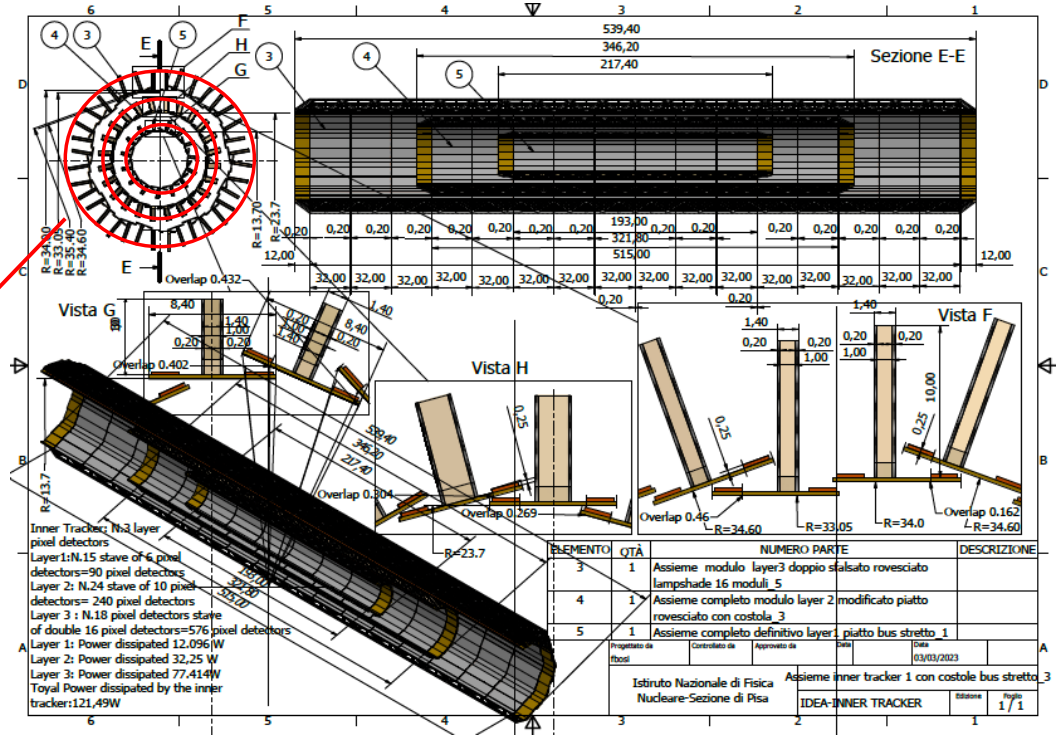
Meccanica/Cooling



The IDEA Concept

Silicon detectors for precision measurements
(vertex detector, silicon internal tracker)

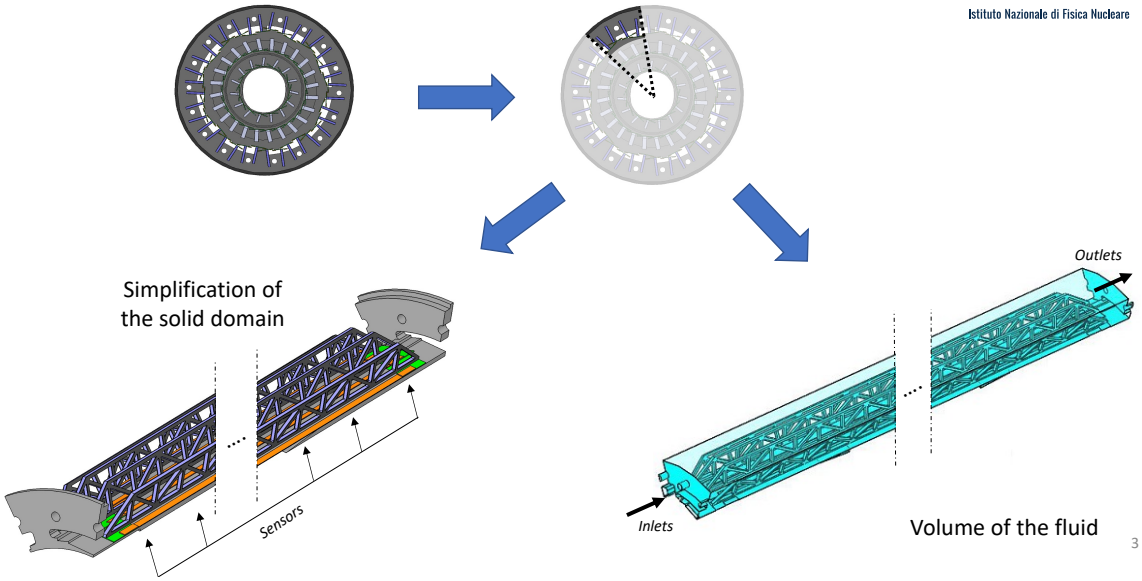
3 layers

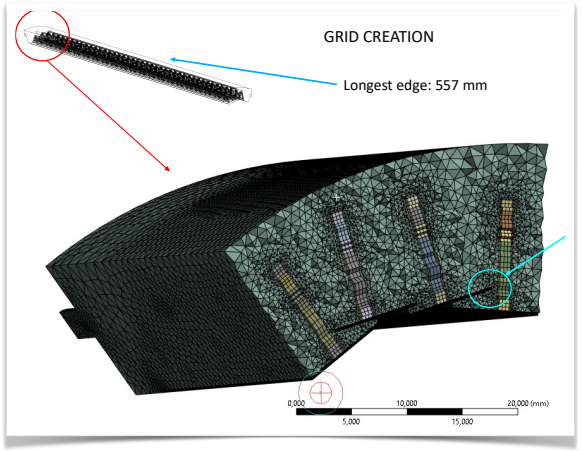


total power 120 W
air cooled

total weight 230 g

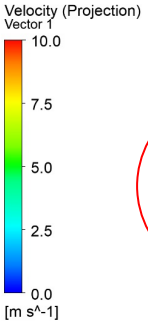
Start from a radial sector of layer 3 to understand the level of detail that can be handled with simulation.

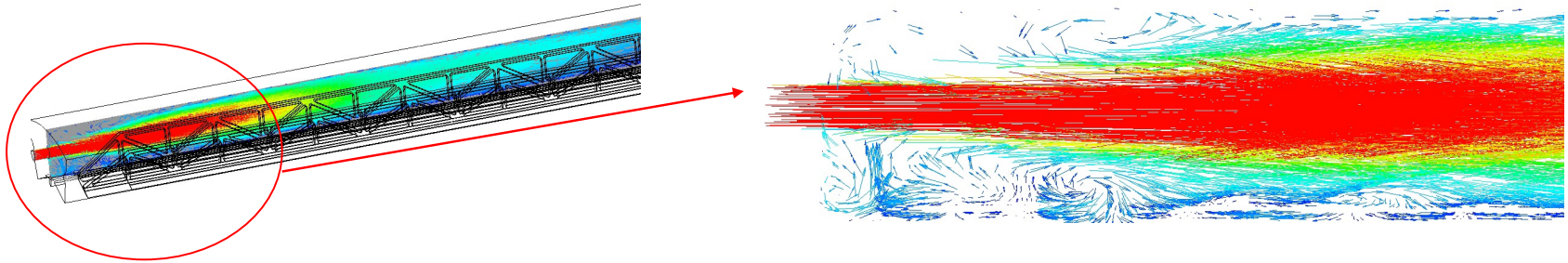




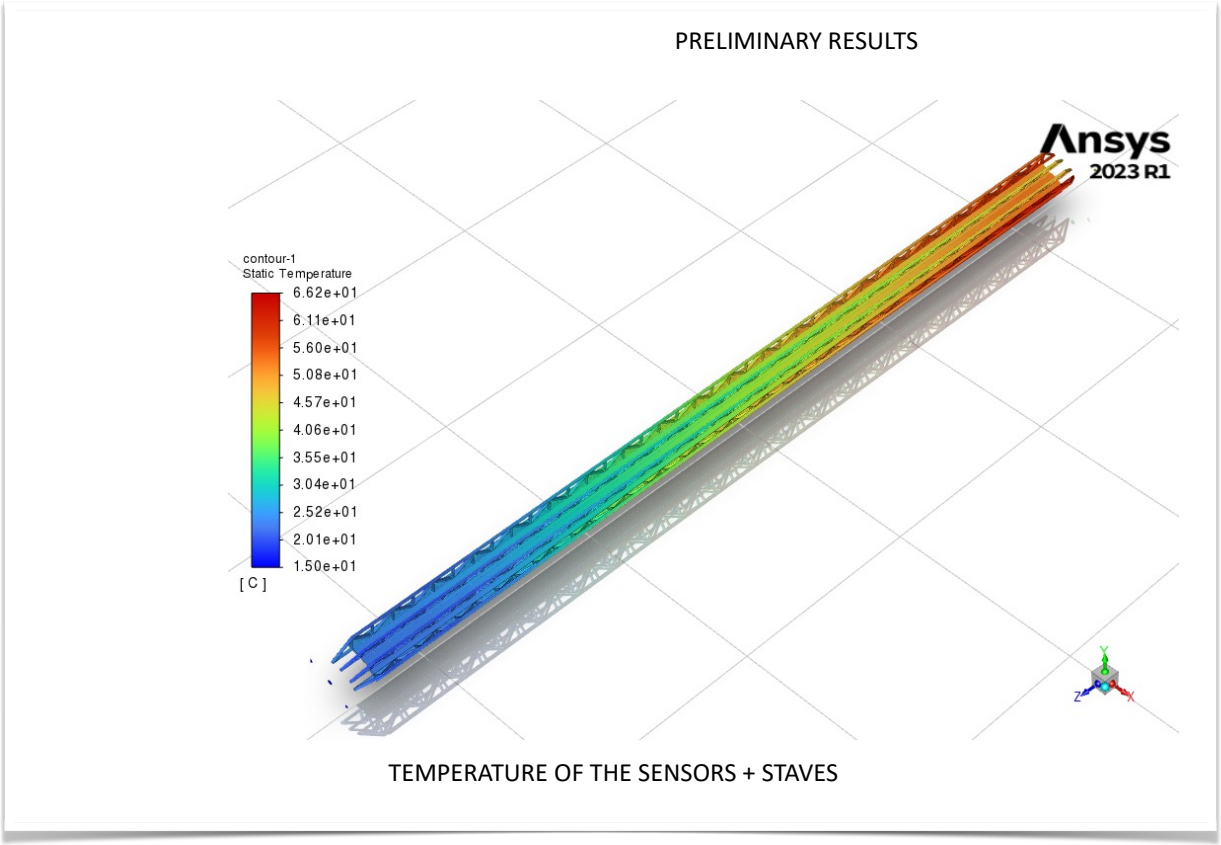
larger edge: 557 mm
smallest edge: 0.25 mm → Huge ratio:
large number of meshes

Velocity field





Expected thermal field



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

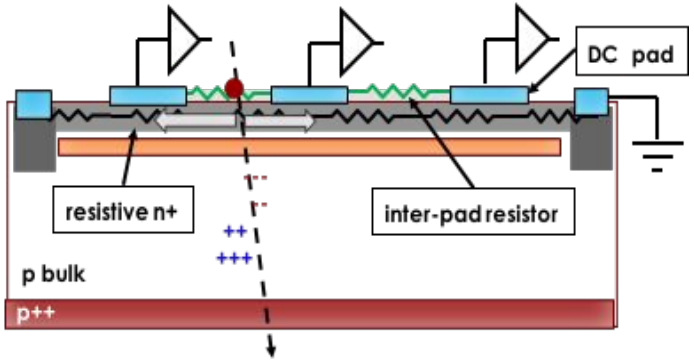
10 keu
acquisto di uno strumento di misura
ULABO FP89-ME

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

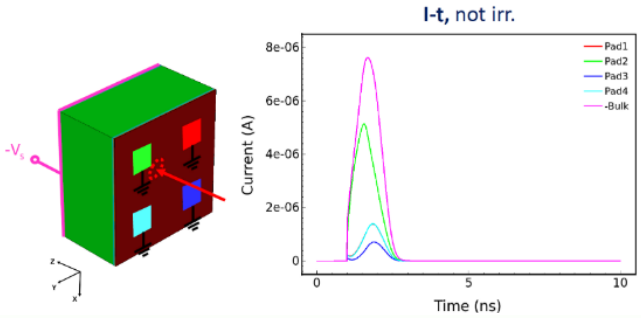
Elettronica e sensori

LGAD sensor design evolution for FCC

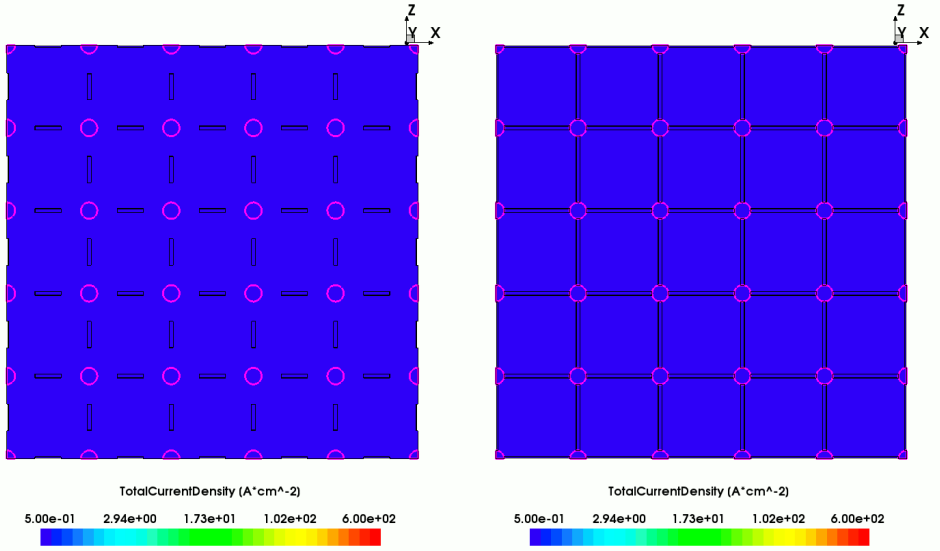
- ✓ FCC-ee/FCC-hh → Surface damage (extreme doses)
- ✓ DC-RSD in FC-ee for 4D tracking
  - ✓ **Emerging technology** for 4D tracking to combine **time** and **space** resolution
  - ✓ **Position resolution** <10 µm even with large pixel
  - ✓ **Material budget** – thin sensors (< 50 µm)
  - ✓ Large area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



Design optimization for the signal confinement



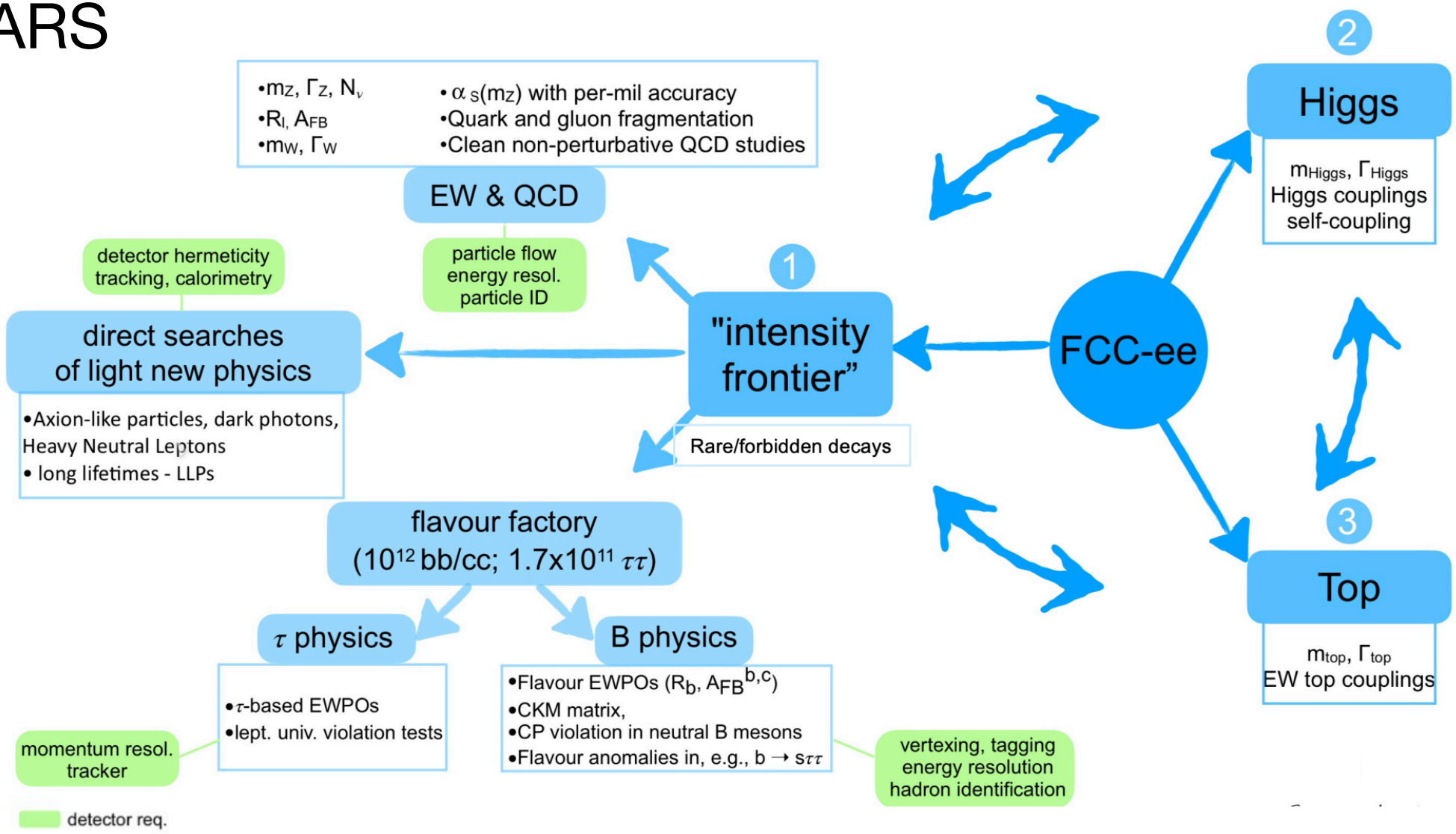
Radiation damage effects in FCC

- ✓ 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
AidaInnova (EXFLU-innova Blue Sky R&D)

Software

FCC-ee PHYSICS PROGRAMME WITH 2 IPs AND 15 YEARS



PHYSICS & DETECTOR REQUIREMENTS HIGGS/EW/ TOP

"Higgs Factory" Programme

- At two energies, 240 and 365 GeV, collect in total
  - 1.2M HZ events and 75k WW → H events
- Higgs couplings to fermions and bosons
- Higgs self-coupling (2-4 σ) via loop diagrams
- Unique possibility: measure electron coupling in s-channel production $e^+e^- \rightarrow H$ @ $\sqrt{s}$ = 125 GeV

Detector requirement

- Momentum resolution at $p_T \sim 50$ GeV of $\sigma_{pT}/p_T \simeq 10^{-3}$ commensurate with beam energy spread
- Jet energy resolution of 30%/√E in multi-jet environment for Z/W separation
- Superior impact parameter resolution for c, b tagging

Ultra Precise EW Programme & QCD

Measurement of EW parameters with factor ~300 improvement in *statistical* precision wrt current WA

- 5×10^{12} Z and 10^8 WW
  - m_Z, Γ_Z, Γ_{inv}, $\sin^2\theta_W^{eff}$, R^Z_ℓ, R_b, α_s, m_W, Γ_W,…
- 10^6 tt
  - m_{top}, Γ_{top}, EW couplings

Indirect sensitivity to new phys. up to Λ=70 TeV scale

Detector requirement

- Absolute normalisation (luminosity) to 10^{-4}
- Relative normalisation (e.g. Γ_{had}/Γ_ℓ) to 10^{-5}
- Momentum resolution "as good as we can get it"
  - Multiple scattering limited
- Track angular resolution < 0.1 mrad (BES from μμ)
- Stability of B-field to 10^{-6} : stability of √s meast.

Attività

Prima di concentrarsi su possibili canali di analisi, necessaria finalizzazione del software di simulazione/ricostruzione del detector, sfruttando conoscenze già acquisite con gli esperimenti attuali/passati

- **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…)

Conclusioni

Lo studio delle interazioni fondamentali agli acceleratori è tutt'altro che in declino. Fasi alterne, anche disciplinarmente, di costruzione e presa dati sono la consuetudine

La Fisica agli acceleratori ha conseguito risultati fondamentali negli ultimi 70 anni che ha permesso di spostare la nostra conoscenza verso frontiere impensabili, ponendo nuovi quesiti

Il controllo delle condizioni sperimentali in laboratorio permette l'interpretazione del risultato con basso margine di incertezza. La verifica fenomenologica è puntale, la produzione scientifica elevatissima

L'attività di preparazione ad FCC è in una fase sempre più concreta, la comunità internazionale si è costituita e cresce l'attenzione e le attività preparatorie del CERN (definizione del budget, gruppi di lavoro, studi di fattibilità molto concreti per l'installazione dell'anello)

La strutturazione INFN cresce conseguentemente, 19 sezioni coinvolte e budget in crescita geometrica

FCC è l'ipotesi maggiormente concreta di sviluppo futuro della fisica agli acceleratori, necessario dare continuità per lo studio sperimentale delle interazioni fondamentali in una prospettiva di ampia visione

Conclusioni

E’ importante strutturare anche nella sezione di Perugia l’attività FCC formalmente

Il contributo può essere costruito a partire dal modello presentato:

- proiezione delle attività di R&D/upgrade/studio in corso verso FCC (quando possibile)
- considerare l’opportunità di costruire nel prossimo futuro risorse condivise tra FCC e le altre sigle sperimentali in modo da dare sostegno all’attività

C’e’ ampio spazio per presentare nuove idee e soluzioni, ampliare le collaborazioni con altri settori disciplinari, nulla è definito, ampio margine creativo

Oltre alle attività qui presentate, in sezione ci sono competenze profonde ed importanti in diversi settori (trigger, software, simulazioni, calorimetria, analysis model e data management, DAQ…). E’ importante non trascurare questo momento storico.

Penso ci siano tutti i presupposti per poter aprire nel prossimo futuro la sigla FCC nella sezione di Perugia