Il personale tecnico INFN, il motore silenzioso della ricerca: meccanica

Alessandro Saputi
INFN Sezione di Ferrara

- **Il ruolo del CTER-Meccanico all'interno dell'INFN e nei laboratori di Fisica Nucleare**
- **Competenze del CTER-Meccanico**
- **La meccanica negli apparati sperimentali: presente e futuro**
- **Evoluzione degli strumenti a disposizione del CTER-Meccanico**

I protagonisti di un viaggio affascianante

Il Fisico

Il Tecnologo

Il Tecnico

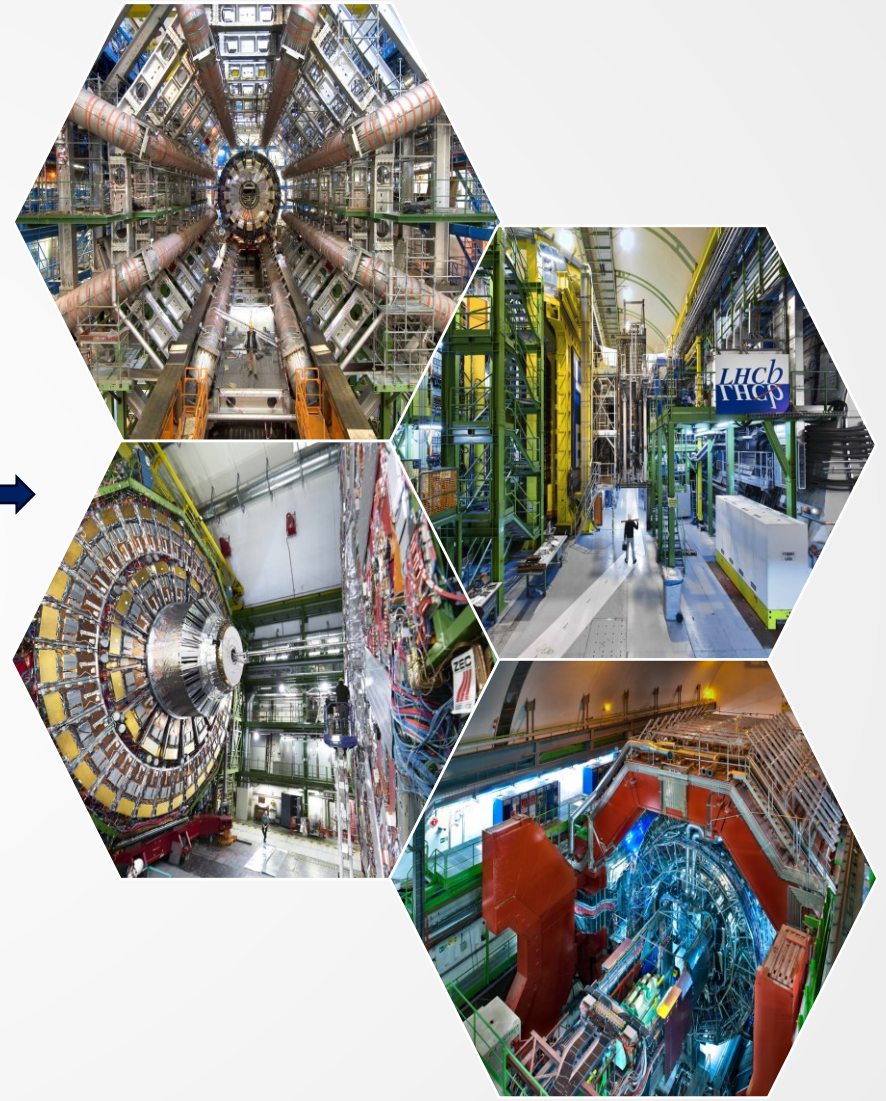
Le (macro) fasi di un progetto

Idea!

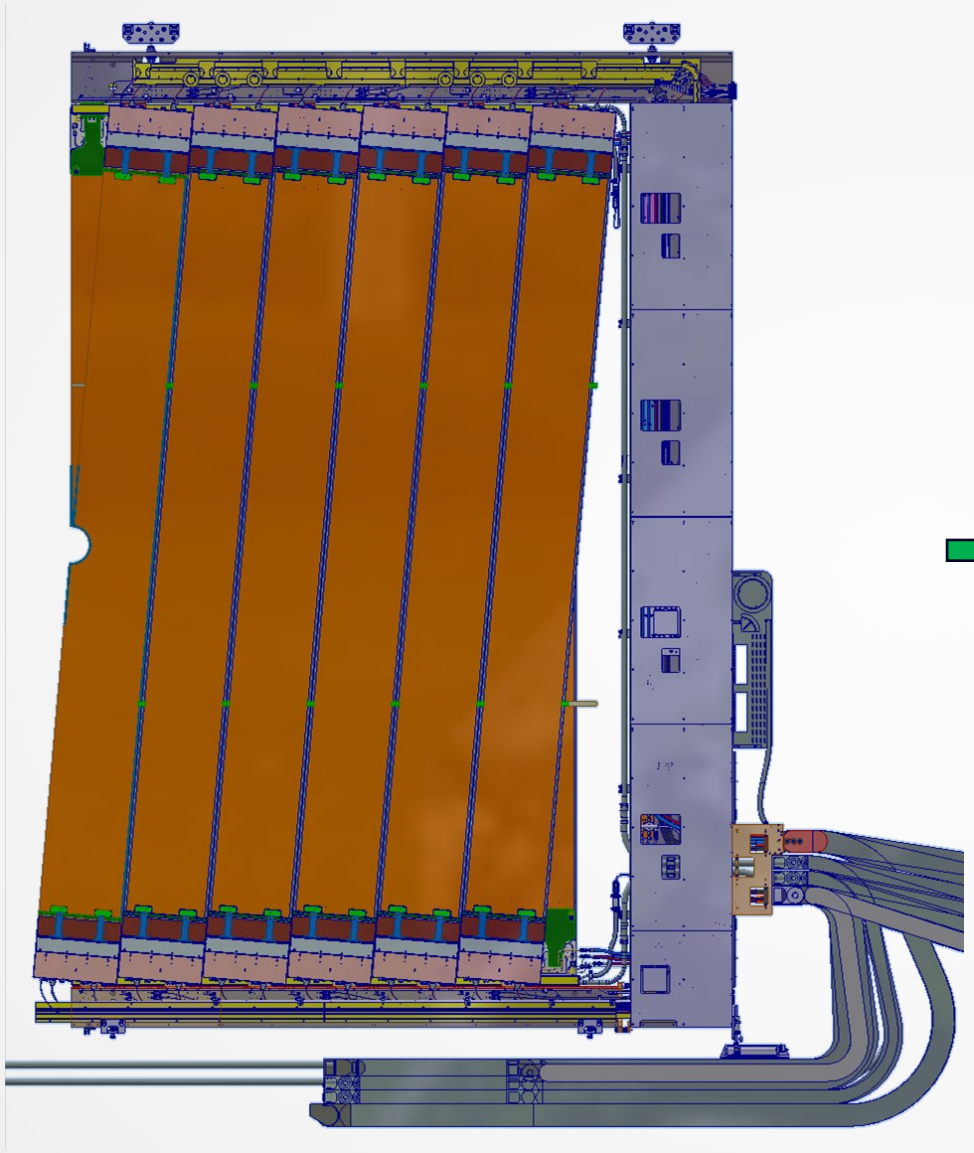
Realta!

Carta!

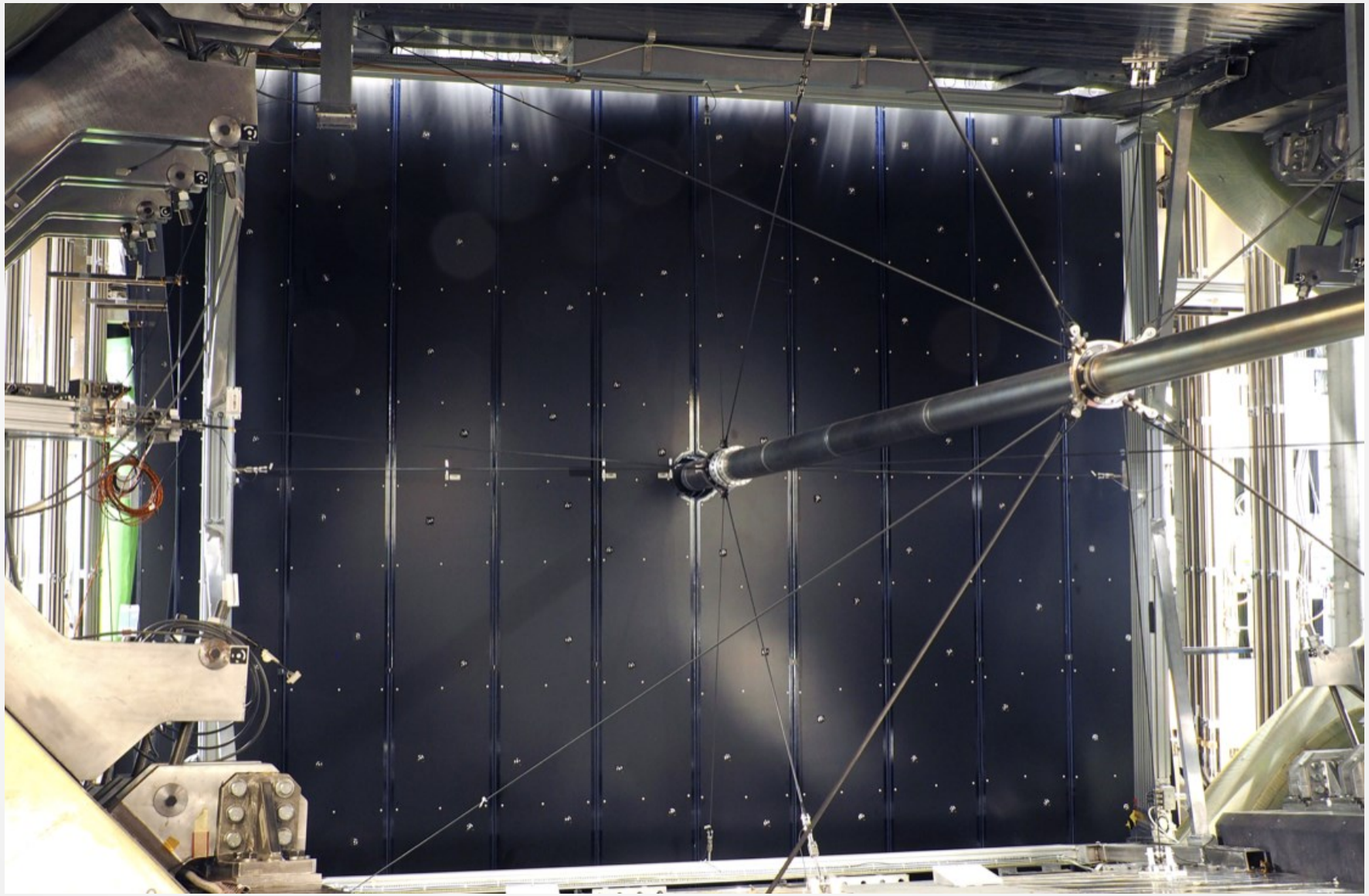
Dall'idea all'apparato sperimentale



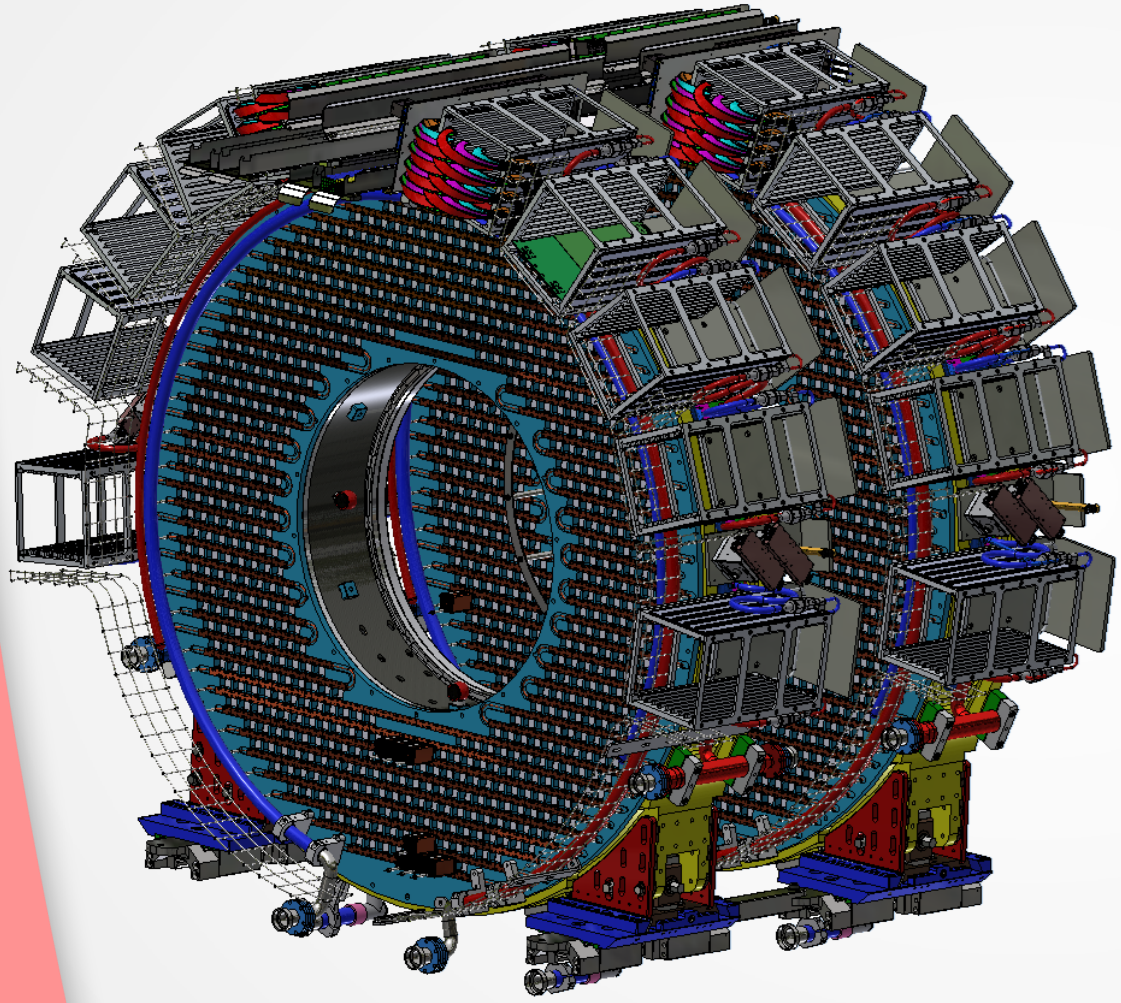
Dall'idea all'apparato sperimentale: LHCb - SciFi

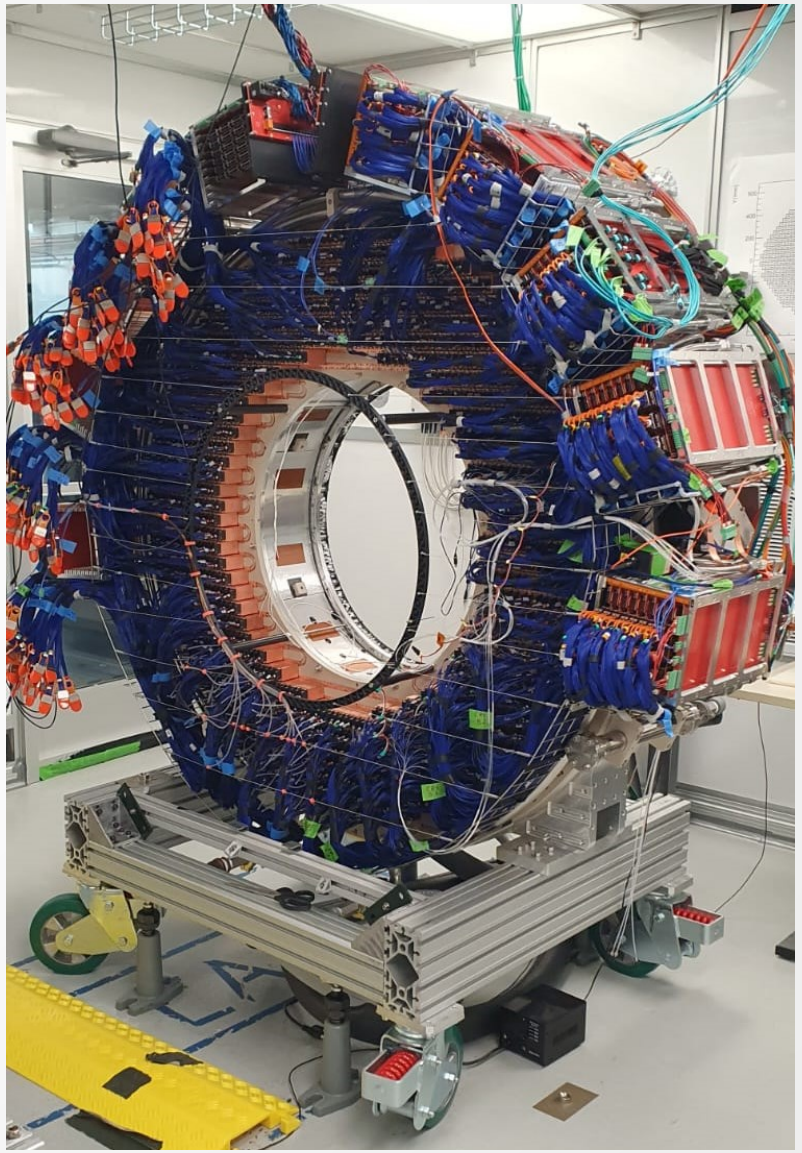


Dall'idea all'apparato sperimentale: LHCb - SciFi

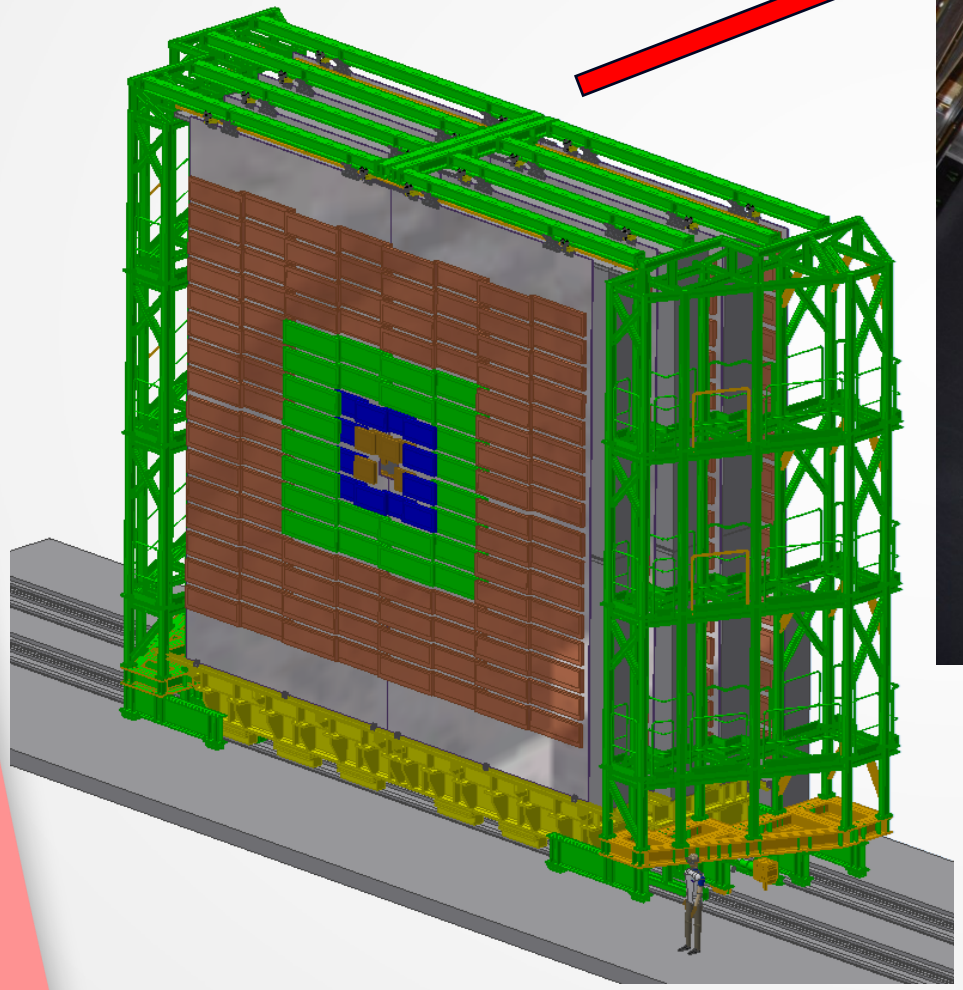


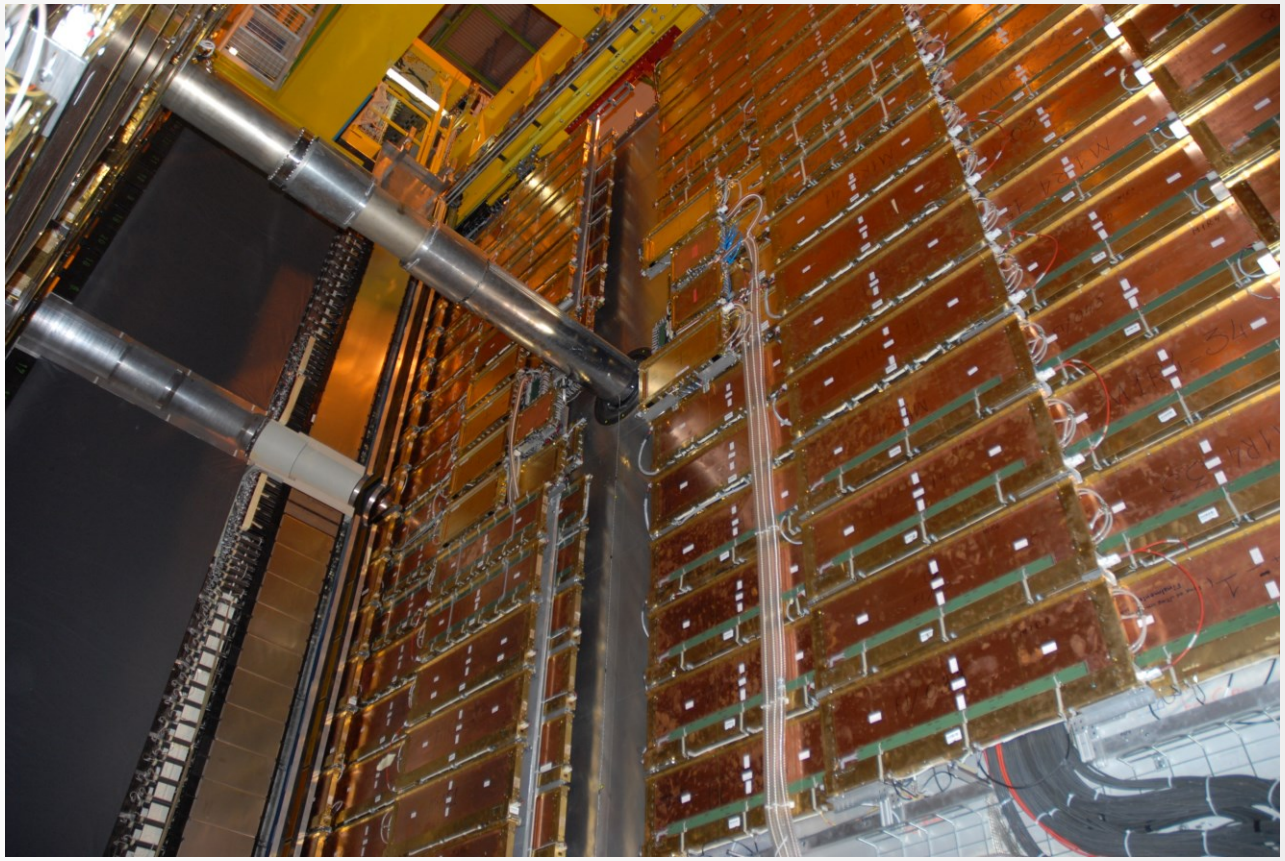
Dall'idea all'apparato sperimentale: Mu2e - Calo





Dall'idea all'apparato sperimentale: LHCb - Muon





Il ruolo del CTER-Meccanico all'interno dell'INFN

Supporto operativo alla progettazione: interpreta e realizza disegni tecnici, esegue rilievi e misurazioni.

Produzione e collaudo: supervisiona o partecipa alla costruzione di componenti meccanici in officina o presso fornitori esterni.

Montaggio e assemblaggio: partecipa all'assemblaggio di apparati sperimentali, anche in condizioni speciali (es. camere a vuoto, criogenia).

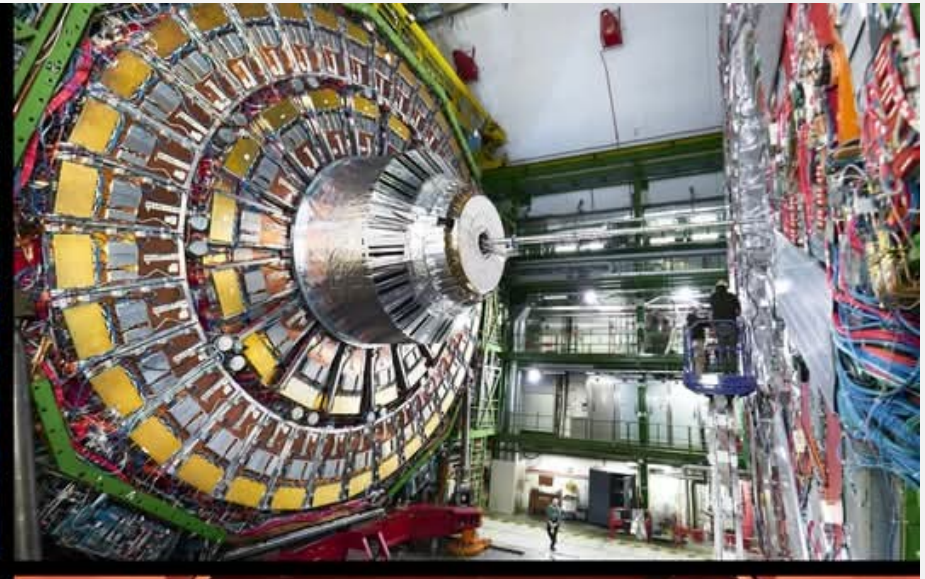
Manutenzione: esegue o coordina attività di manutenzione su strumentazione o infrastrutture meccaniche.

Sicurezza e qualità: si occupa del rispetto delle normative di sicurezza, qualità e tolleranze meccaniche.

2025 Breakthrough Prize in Fundamental Physics

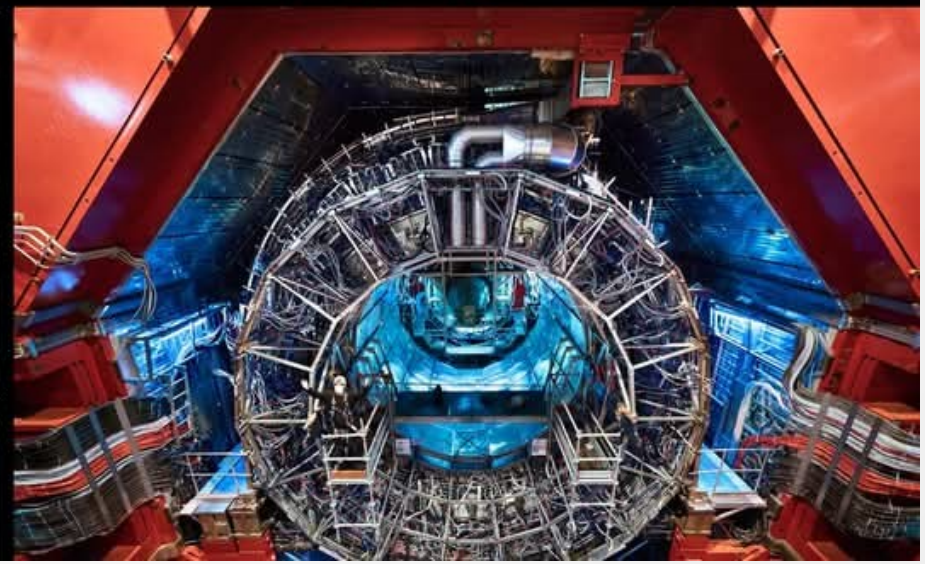
LHCb

CMS



ATLAS

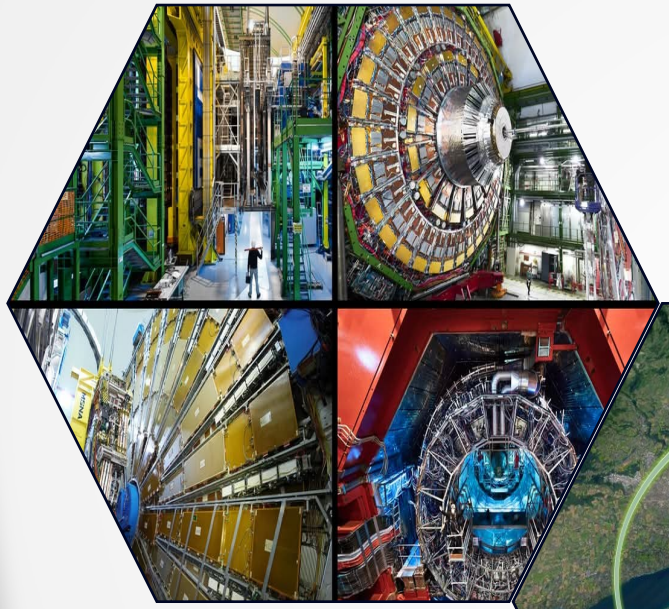
ALICE



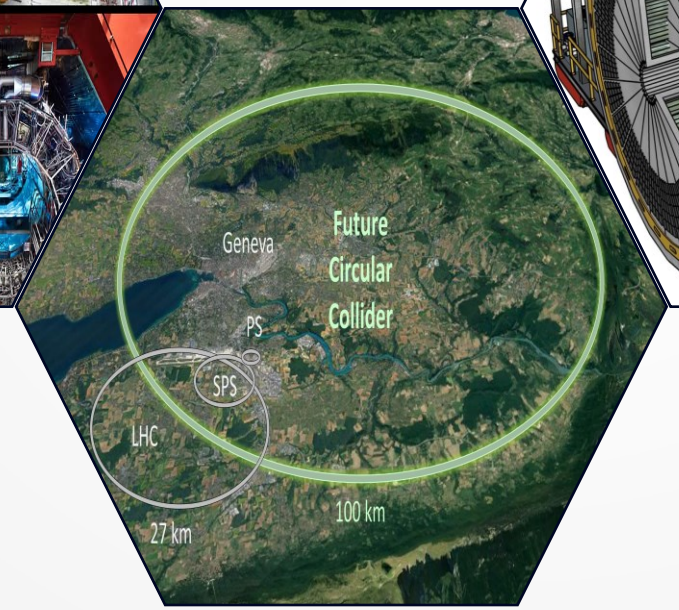
Cosa c'è all'orizzonte?

Cosa bolle in pentola?

HIGH LUMINOSITY LHC

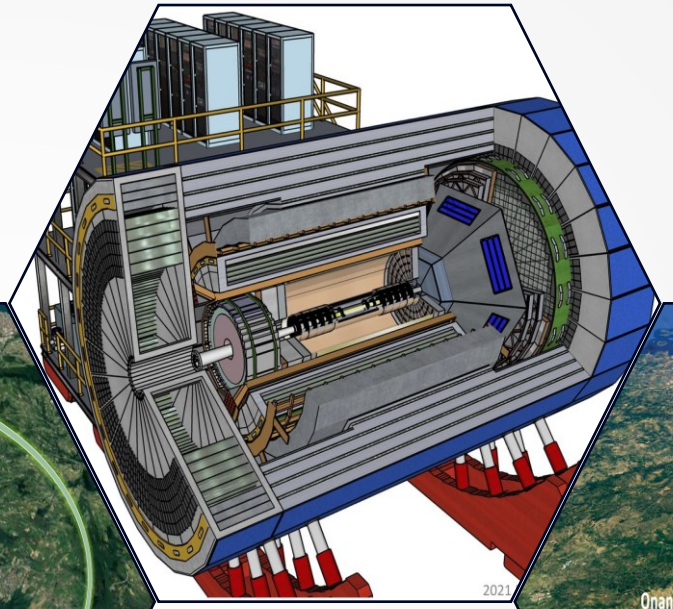


Upgrade esp. LHC



FCC

DUNE



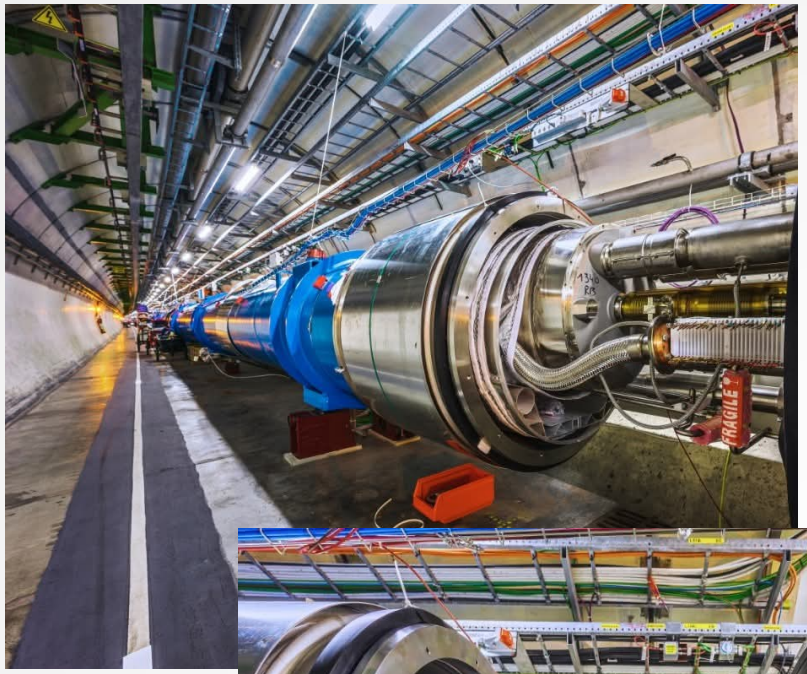
EIC - ePIC

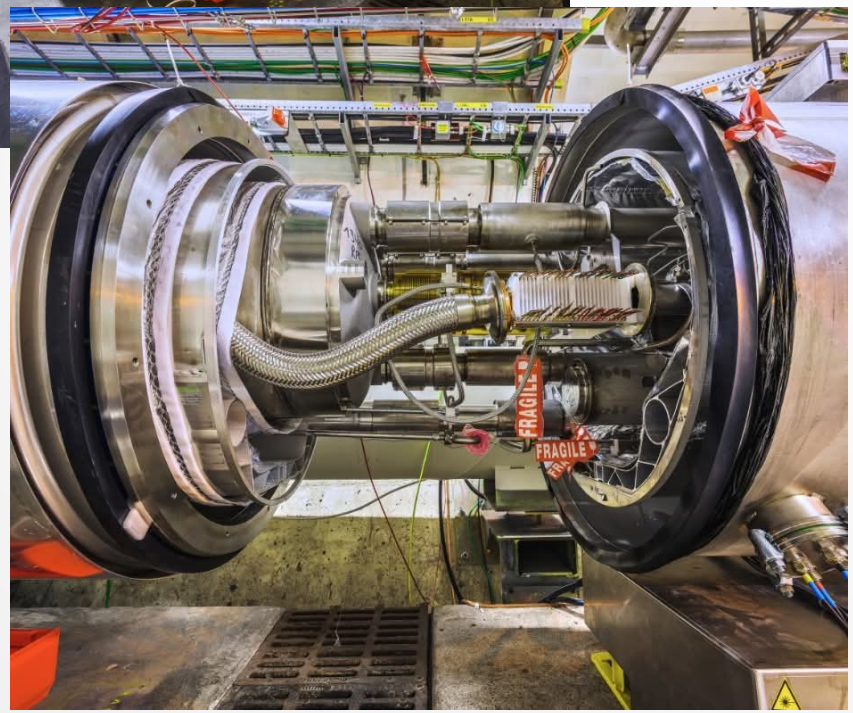
EUPRAXIA

XENONNT E DARKSIDE-20K

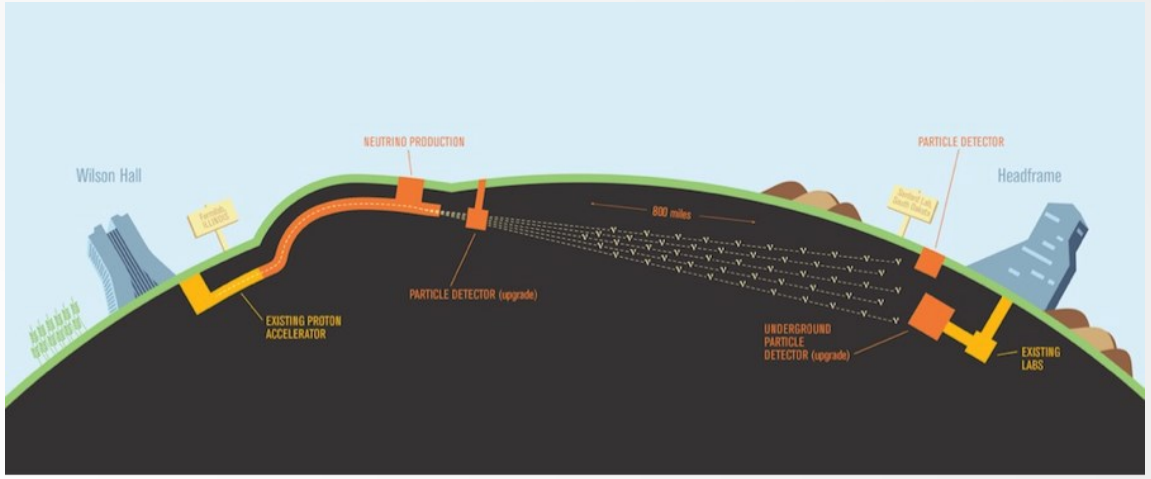
Einstein Telescope

Cosa bolle in pentola?





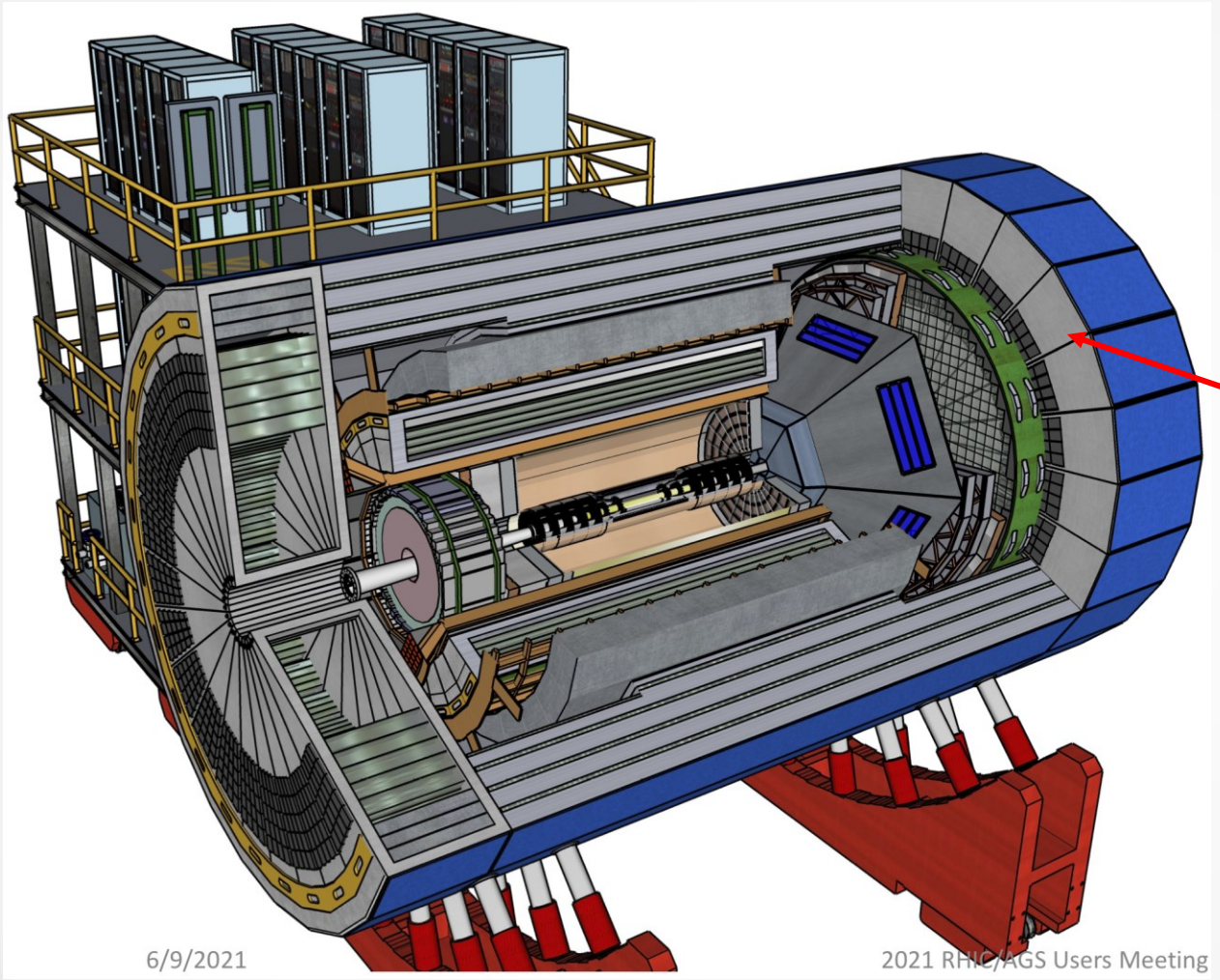
FCC

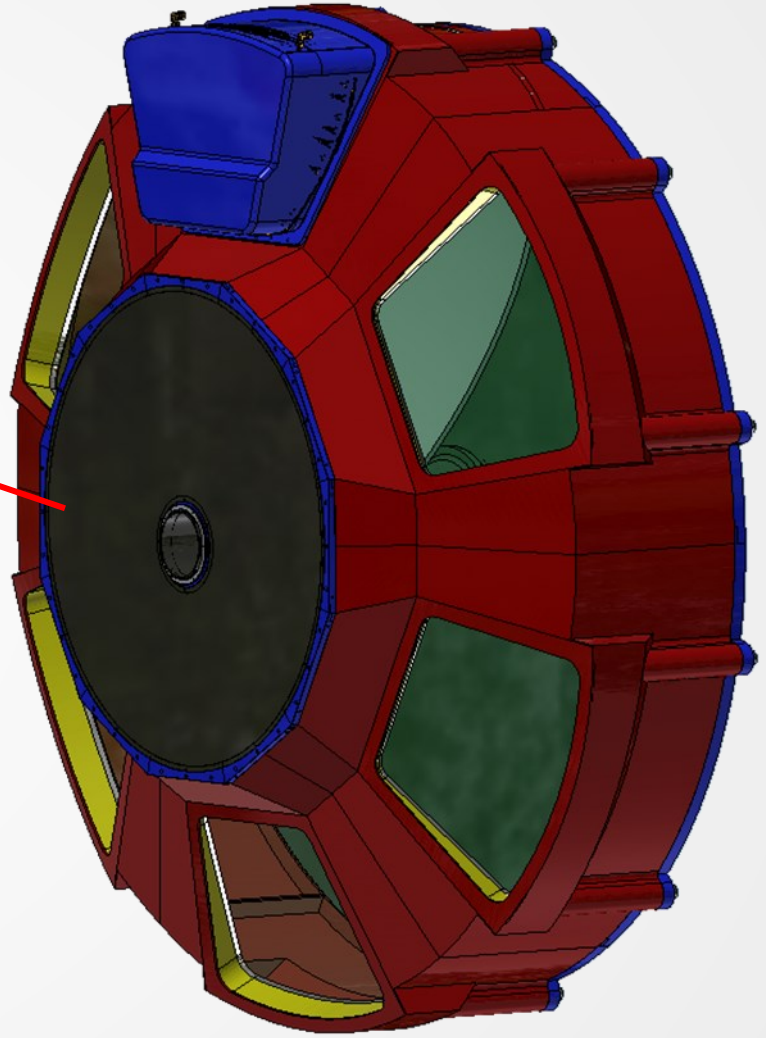


DUNE

LBNF-DUNE

Cosa bolle in pentola?





ePIC - dRICH

Tecnologie emergenti nel design, produzione e gestione degli apparati sperimentali

Detector Research and Development (DRD)

DRD8

DRD8 R&D Collaboration - Mechanics & Cooling of Future Vertex and Tracking Systems

Work Package 1: Global System Design and integration

- Meccanica dei futuri rivelatori, inclusa l'installazione, l'integrazione dei servizi, il ciclo di vita e le interfacce con i futuri collider (regione del vertice dell'esperimento)
- Esplorazione di sistemi robotici telecomandati per l'ispezione, la manutenzione e la movimentazione di questi rivelatori all'interno della sala sperimentale

Work Package 2: Low-mass Mechanics and Thermal Management

- Meccanica a bassa massa e gestione termica integrata per la prossima generazione di rivelatori di vertice e di tracciamento per Esperimenti di Fisica delle Alte Energie (HEP)
- Standard di test, raccolta dati, certificazione inter-laboratorio e sviluppo di un database

Work Package 3 : Detector cooling

- Refrigeranti per estendere il campo operativo verso evaporazioni a temperature più basse rispetto a quelle attualmente coperte dai flussi in ebollizione di CO_2
- Sviluppo di geometrie di trasporto del calore basate su substrati di raffreddamento a microcanali

Work Package 4 : Design and Qualification Tools

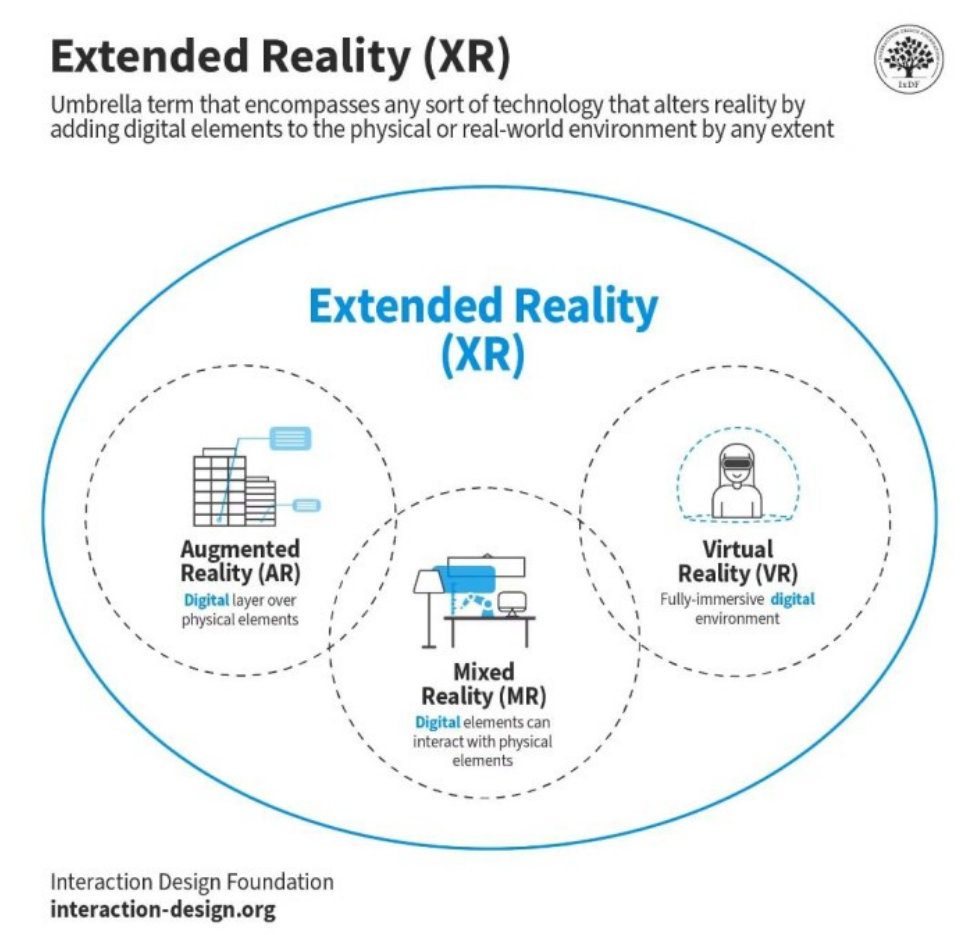
- Realtà Estesa (XR)
- Collegamento degli strumenti di progettazione ingegneristica con il software di simulazione fisica

https://drd8.web.cern.ch/

Extended Reality (XR): uno sguardo al futuro

Cos'è l'XR?

- XR è un termine ombrello che comprende: Realtà Virtuale (VR), Realtà Aumentata (AR) e Realtà Mista (MR)
- Queste tecnologie ridefiniscono il modo in cui interagiamo con i mondi digitali e fisici



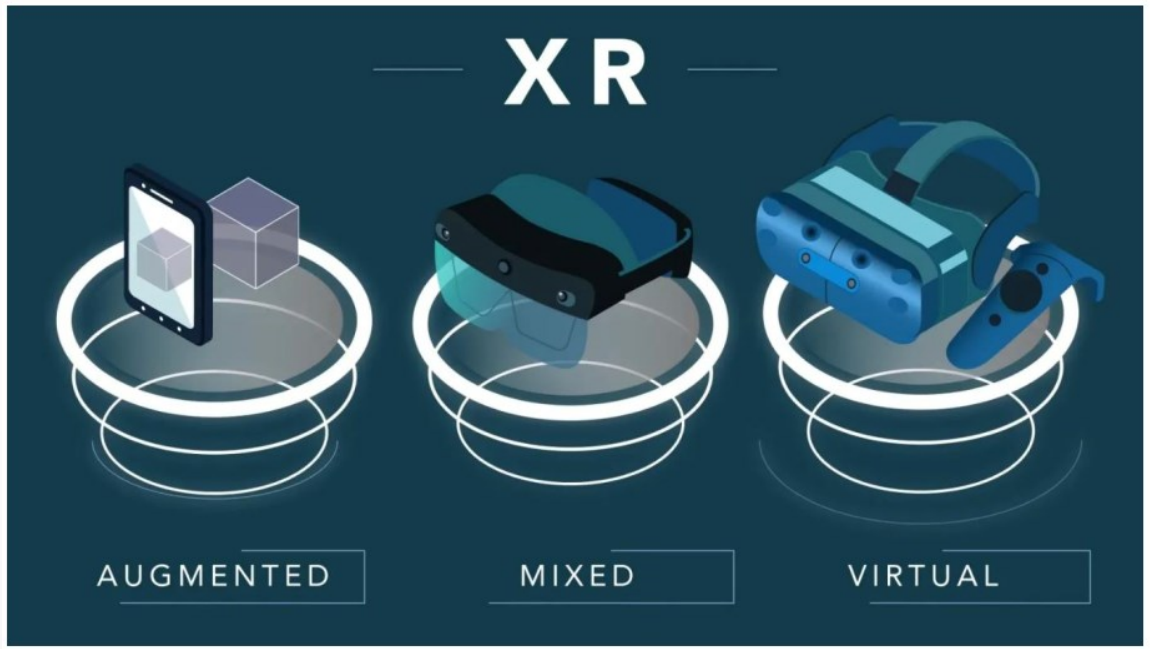


Image Credit: Theorem Solutions

Tecnologia XR

VR vs. AR vs. MR: Qual è la differenza?

- VR (Realtà Virtuale): Esperienza completamente immersiva; gli utenti interagiscono in un mondo interamente virtuale (es. Oculus Quest, HTC Vive).
- AR (Realtà Aumentata): Sovrappone contenuti digitali al mondo reale (es. smartphone, occhiali AR come Apple Vision Pro).
- MR (Realtà Mista): Unisce elementi virtuali e reali in modo interattivo (es. Microsoft HoloLens).

Ricercatori dell'Agenzia Spaziale Europea a Darmstadt, in Germania, equipaggiati con un visore VR e controller di movimento, mostrano come gli astronauti potrebbero utilizzare la realtà virtuale in futuro per addestrarsi a spegnere un incendio all'interno di un habitat lunare.

Europa Clipper engineers using **mixed reality** headsets to examine Europa Clipper's avionics module assembly. Source: NASA/JPL-Caltech

AR-guided spine tumor surgery in New York State. Photo credit: Northwell Health

XR Technologies: un esempio pratico

Di recente, un lavoratore di un Toyota Logistics Center nel New Jersey ha indossato un HoloLens 2, il visore per realtà mista di Microsoft, ha aperto una finestra olografica e ha chiamato un collega in California per chiedere aiuto. Si è ritrovato immediatamente a guardare attraverso gli occhi di qualcuno dall'altra parte del paese.

SOURCE: https://news.microsoft.com/source/features/innovation/hololens-2-industrial-m`etaverse/

Operatore (1) che accede alle istruzioni digitali (2) che chiama l'assistenza remota (3) che discute l'assemblaggio sovrapponendo dati digitali (4) con elementi fisici (5)

Tecnologia XR: dove siamo oggi

Ricerca preliminare di mercato sugli sviluppi delle tecnologie XR nel settore industriale e della ricerca.

- Esistono molte soluzioni del settore privato, economiche e pronte all'uso
- Le grandi aziende tech (Apple, Meta, Google, Microsoft) hanno sviluppato hardware e software

Discussioni in corso con la comunità CERN, in particolare con i team TC dei principali esperimenti.

- Enorme potenziale per un impatto significativo su progettazione, operazioni, manutenzione e installazione degli esperimenti e delle aree sperimentali.
- Sovrapposizione di radiazioni e campi magnetici con l'ambiente reale.
- Formazione degli operatori per interventi in caverna
- Comunicazione remota durante il funzionamento e flusso bidirezionale di informazioni.
- Applicazioni legate alla sicurezza: identificazione dei rischi, procedure di evacuazione.

Prossima fase.

- Espandere le interazioni con esperti dentro e fuori dal CERN
- Organizzare dimostrazioni con fornitori e visitare laboratori di ricerca

Tecnologie emergenti nel design industriale e produzione

Tecnologie emergenti nel design industriale e produzione

Progettazione assistita da intelligenza artificiale (IA)
L'IA permette di automatizzare compiti di progettazione complessi, ottimizzare strutture (topology optimization) e suggerire soluzioni innovative basate su dati storici e simulazioni.

Additive manufacturing (stampa 3D)
Consente la produzione di componenti complessi, leggeri e personalizzati con meno spreco di materiale rispetto alla lavorazione tradizionale, aprendo nuove possibilità nella prototipazione rapida e nella produzione su richiesta.

Gemelli digitali (Digital Twins)
Creano una replica virtuale del prodotto o processo che consente di simulare, testare e ottimizzare in tempo reale, riducendo costi e tempi di sviluppo.

Internet of Things (IoT)
Integra sensori nei macchinari e nei prodotti per monitorare le condizioni operative, raccogliere dati e prevedere manutenzioni, migliorando l'efficienza e la qualità della produzione.

Tecnologie emergenti nel design industriale e produzione

Manifattura avanzata e robotica collaborativa
L'automazione flessibile, con robot collaborativi (cobot), consente la produzione anche in piccoli lotti, con tempi di cambio rapidi e minore dipendenza dal lavoro manuale.

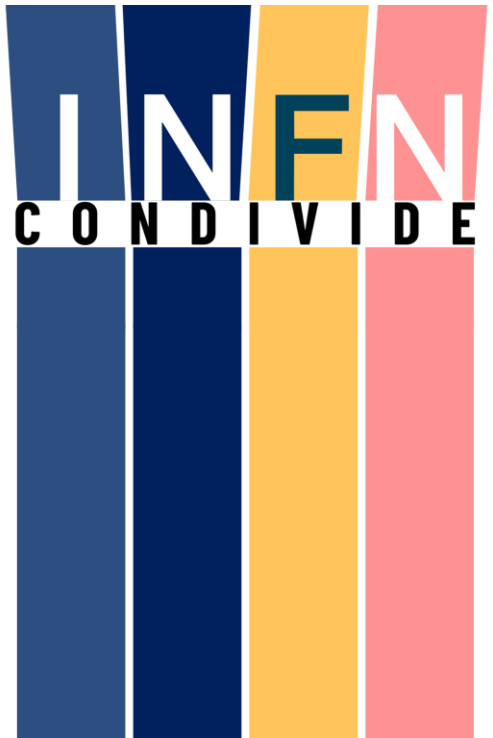
Realtà aumentata (AR) e realtà virtuale (VR)
Utili nella formazione, nell'assemblaggio e nella manutenzione, queste tecnologie permettono di visualizzare modelli 3D, ispezionare virtualmente prototipi e guidare gli operatori.

Simulazione avanzata e CAE (Computer-Aided Engineering)
Strumenti sempre più potenti permettono simulazioni fisiche complesse (fluidodinamica, strutturale, termica) già in fase di progetto, riducendo la necessità di prototipi fisici.

Materiali intelligenti e nanotecnologie
Nuove proprietà: materiali che si adattano all'ambiente, autoriparanti o con capacità avanzate di conduttività o resistenza.
Design funzionale: possibilità di integrare funzioni direttamente nei materiali.

Queste tecnologie stanno non solo cambiando come si progetta e si produce, ma anche cosa è possibile realizzare.

Grazie



8 - 10 Maggio 2025 - La Biodola, Isola D'Elba