

Visita ai Laboratori dell'INFN
11-12 Gennaio 2019

I Laboratori Nazionali di Frascati e gli acceleratori di particelle

Massimo Casarsa

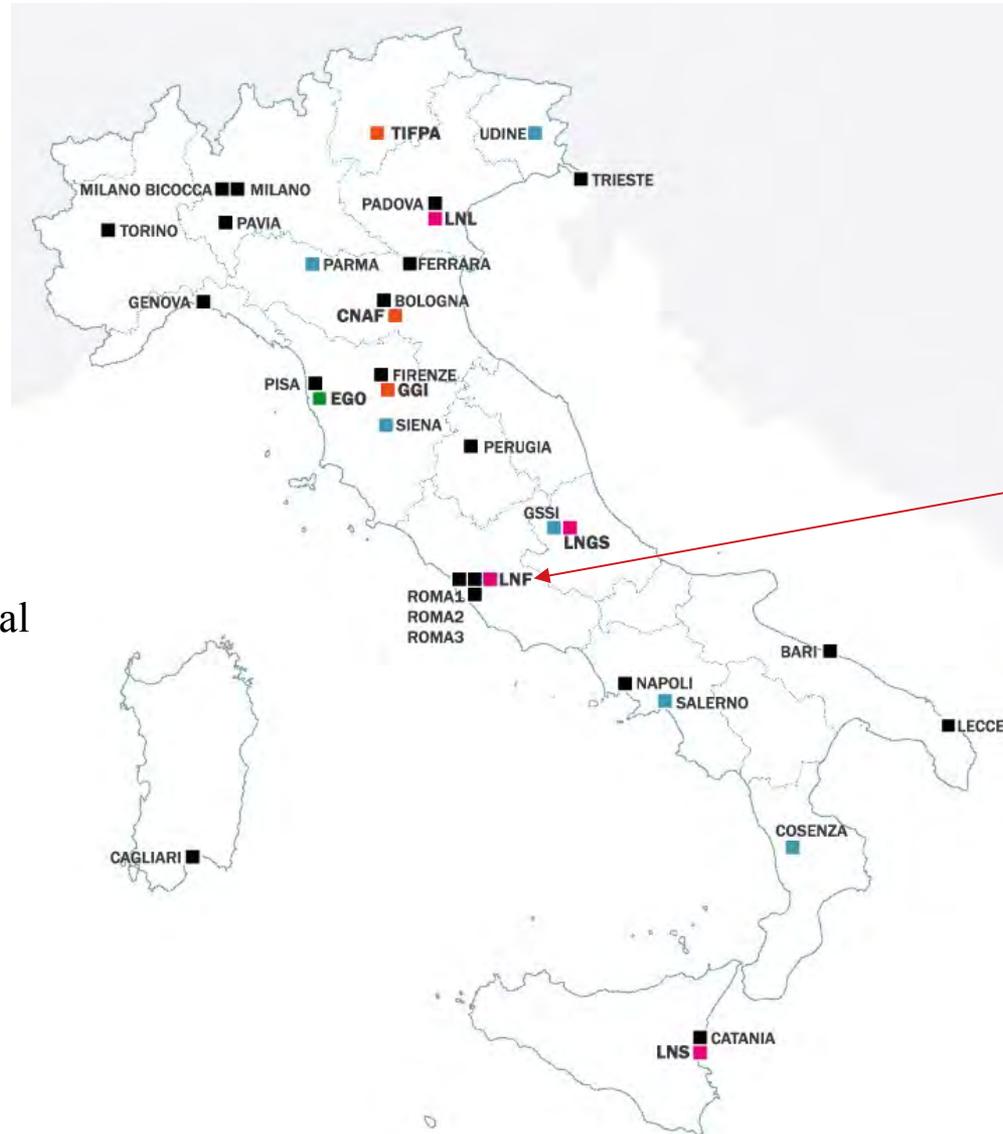
INFN/Trieste

Padriciano 99, 34149 Trieste, Italy
(massimo.casarsa@ts.infn.it)



L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

- Sezioni
- Gruppi Collegati
- Laboratori Nazionali
- Centri Nazionali dedicati al calcolo, ai rivelatori e alla fisica teorica
- European Gravitational Observatory



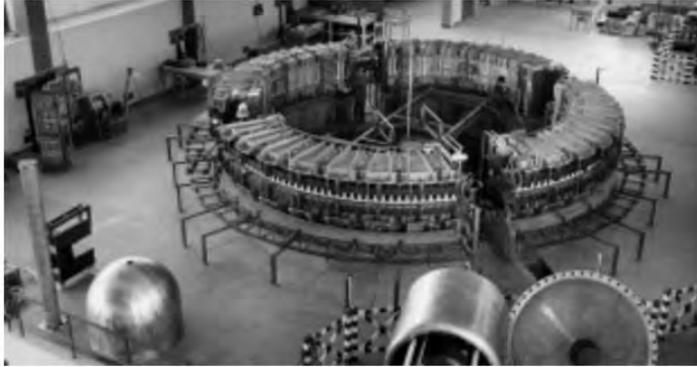
Laboratori
Nazionali
di Frascati
(LNF)

I Laboratori Nazionali di Frascati



- ▶ Il più grande laboratorio dell'INFN, fondato nel 1955 e dedicato principalmente allo studio della **fisica nucleare e subnucleare con macchine acceleratrici**.

Sincrotrone (1959)



Milestones dei LNF

Sincrotrone (1959): il primo acceleratore di alta energia realizzato in Italia; produceva fasci di fotoni di energia 0.4 - 1.1 GeV, ottenuti dall'urto di un fascio di elettroni contro un bersaglio posto all'interno della camera a vuoto dell'acceleratore.

AdA - Anello di Accumulazione (1961)



AdA (1961): il primo acceleratore di particelle-antiparticelle (*collider*); costruito da Bruno Touschek; nello stesso anello elettroni e positroni circolavano in direzioni opposte con eguale velocità, annichilandosi e trasformando tutta l'energia iniziale in nuove particelle.

ADONE (1969)



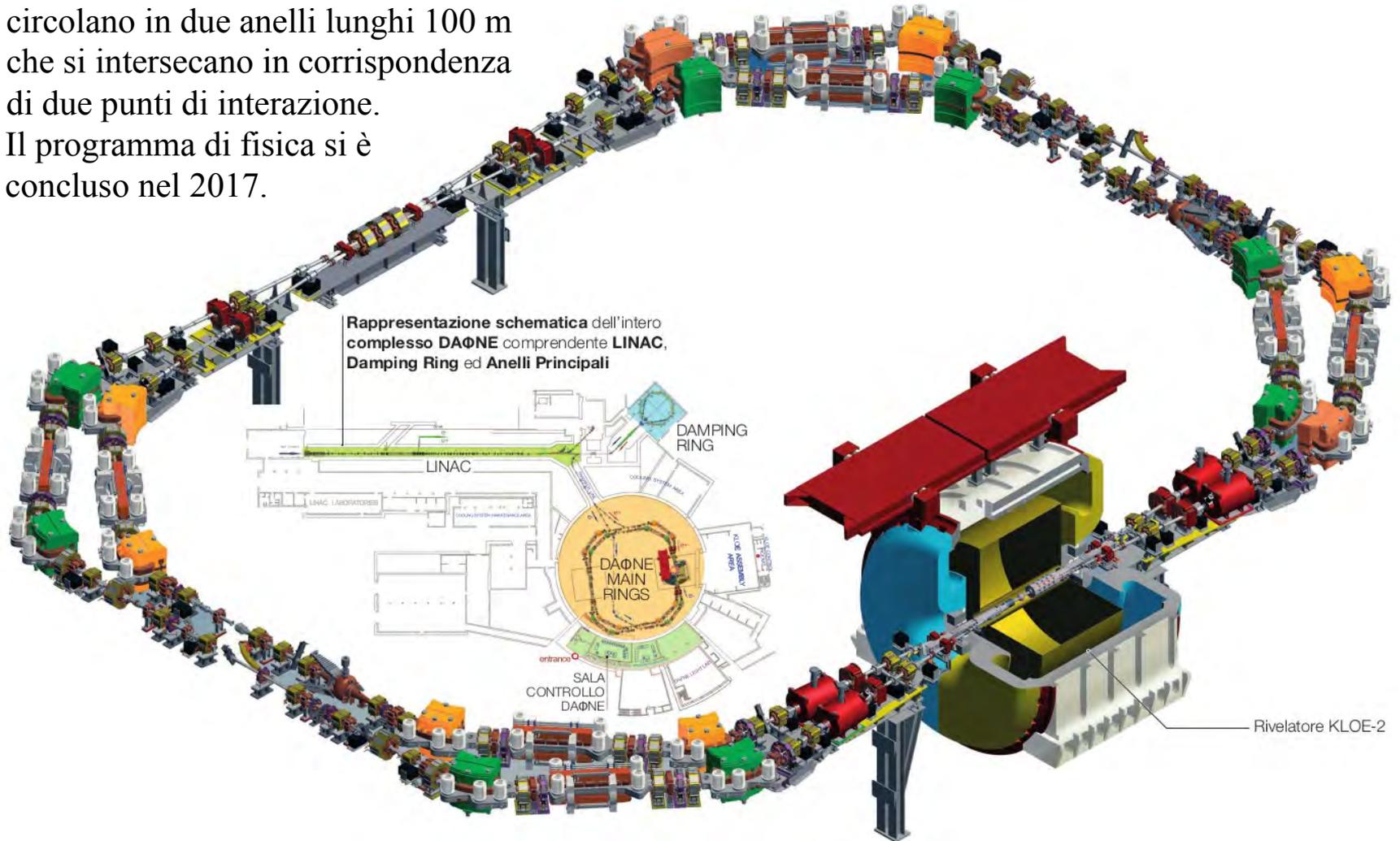
ADONE (1969): fasci di elettroni e positroni, ciascuno di energia 1.5 GeV, circolavano in un anello lungo 105 m con quattro punti di interazione.

ΔΑΦΝΕ

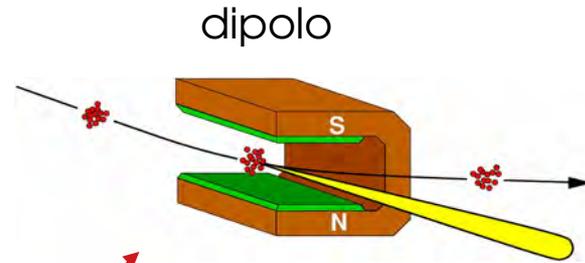
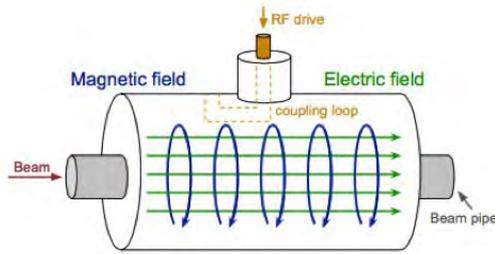


DAΦNE

DAΦNE (1997): fasci molto intensi di elettroni e positroni accelerati ad un'energia di 0.51 GeV, circolano in due anelli lunghi 100 m che si intersecano in corrispondenza di due punti di interazione. Il programma di fisica si è concluso nel 2017.

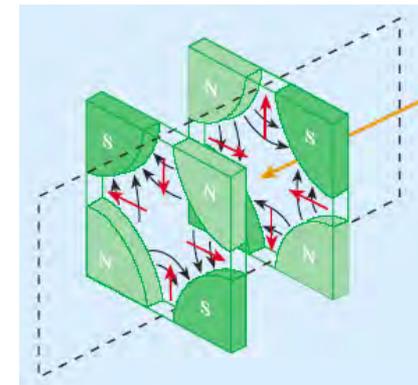
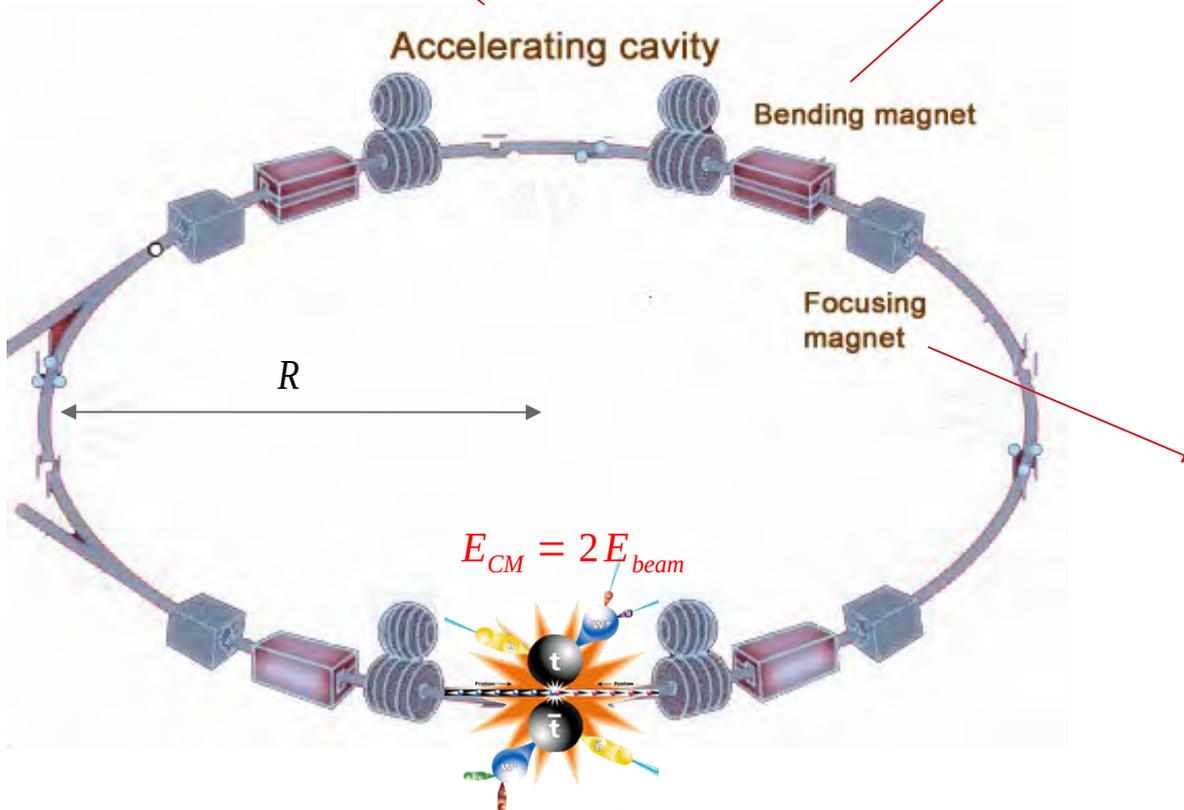


Elementi di un *collider*



radiazione di sincrotrone:

$$P \propto \frac{E^4}{m^4 R^2}$$



quadrupoli

Elementi di un *collider*

Ma servono anche:

- ▶ **sestupoli** e **ottupoli** per compensare le instabilità dei fasci;



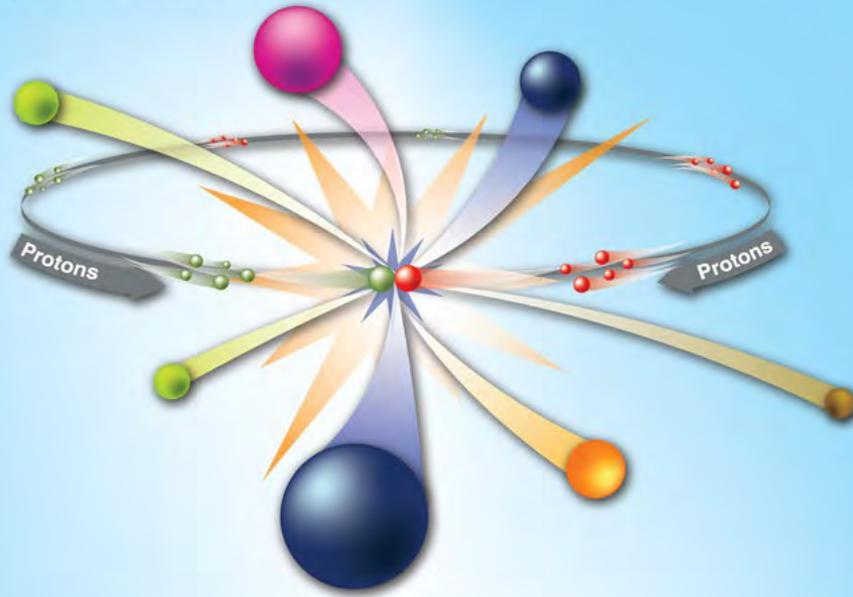
- ▶ **impianti criogenici** per liquefare l'He e distribuire l'He liquido, usato per raffreddare a 2-4 K gli elementi superconduttori dell'acceleratore;

- ▶ **pompe a vuoto**: per evitare collisioni con le molecole d'aria, i fasci devono circolare sotto vuoto spinto ($\sim 10^{-10}$ - 10^{-11} mbar).

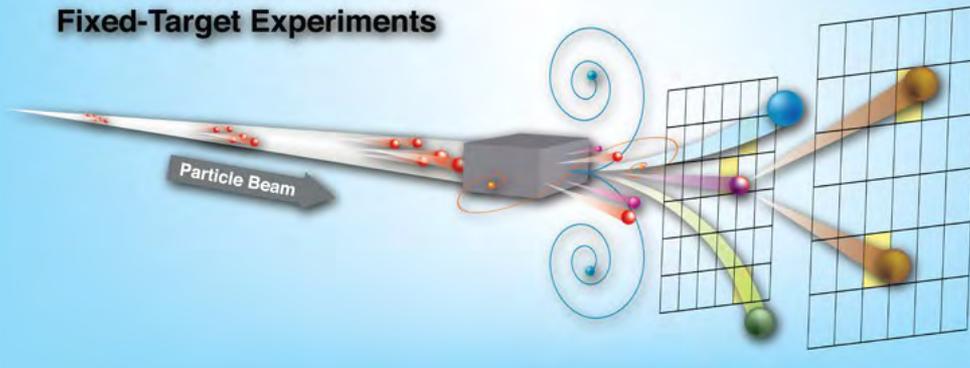


Collider vs targhetta fissa

Collider Experiments



Fixed-Target Experiments



- ▶ Più efficienti energeticamente:

$$E_{CM} = 2 E_{beam} ;$$

- ▶ rate di collisioni inferiore:
a LHC $\sim 10^{14}$ protoni per fascio;
- ▶ più complicati e costosi da costruire.

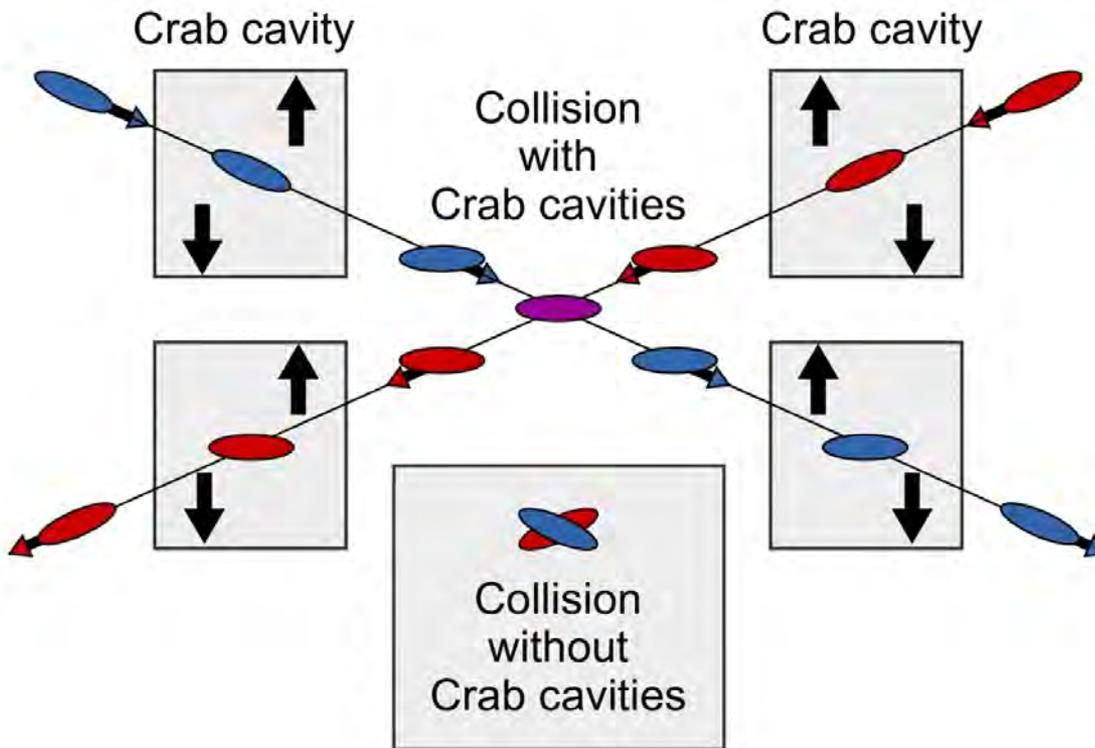
- ▶ Meno efficienti energeticamente:

$$E_{CM} \approx \sqrt{2m E_{beam}} ;$$

- ▶ rate di collisioni maggiore:
 $\sim 10^{23}$ particelle nel bersaglio fisso;
- ▶ più semplici e meno costosi da costruire.

Innovazioni introdotte dai LNF

- ▶ I LNF continuano ad essere fucina di innovazioni nel campo degli acceleratori di particelle.
- ▶ Hanno introdotto la tecnologia delle **crab cavities**.



Luminosità di un *collider*:

$$L = \frac{f_{rev} n_b N_b^2}{4\pi\sigma^2} R_\phi$$

Revolution frequency
Number of bunches
Bunch size
Transverse beam size
Geometric factor, related to crossing angle.

da cui il rate di eventi di un processo X con sezione d'urto σ_X è dato da:

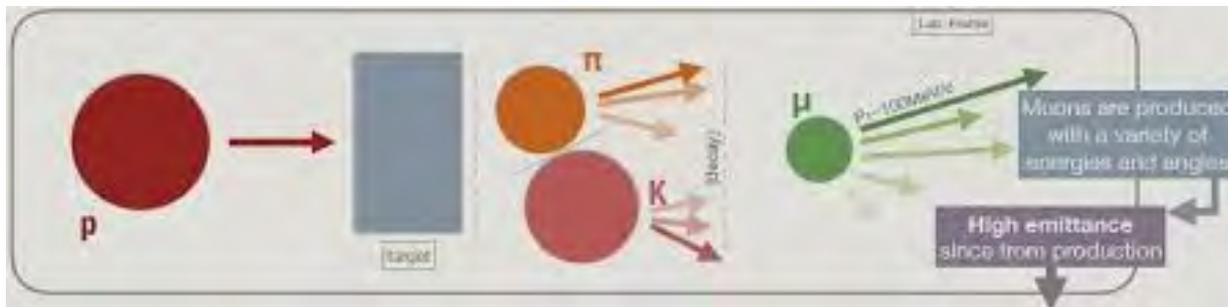
$$R_X = \sigma_X L$$

Innovazioni introdotte dai LNF

- ▶ Nuovo metodo per produrre muoni collimati per la realizzazione di un *muon collider*:

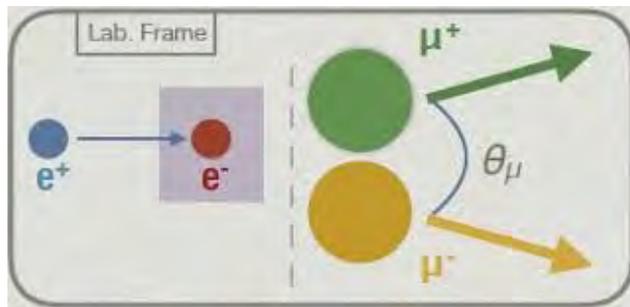
NB: la vita media del muone è $\tau = 2.2 \mu\text{s}$!

metodo “classico”: muoni dal decadimento di pioni e kaoni prodotti nella collisione di protoni su un bersaglio fisso



⇒ i muoni hanno momenti trasversi e devono essere “raffreddati”;

nuovo metodo: muoni prodotti direttamente dalla collisione di un fascio di positroni su elettroni fermi

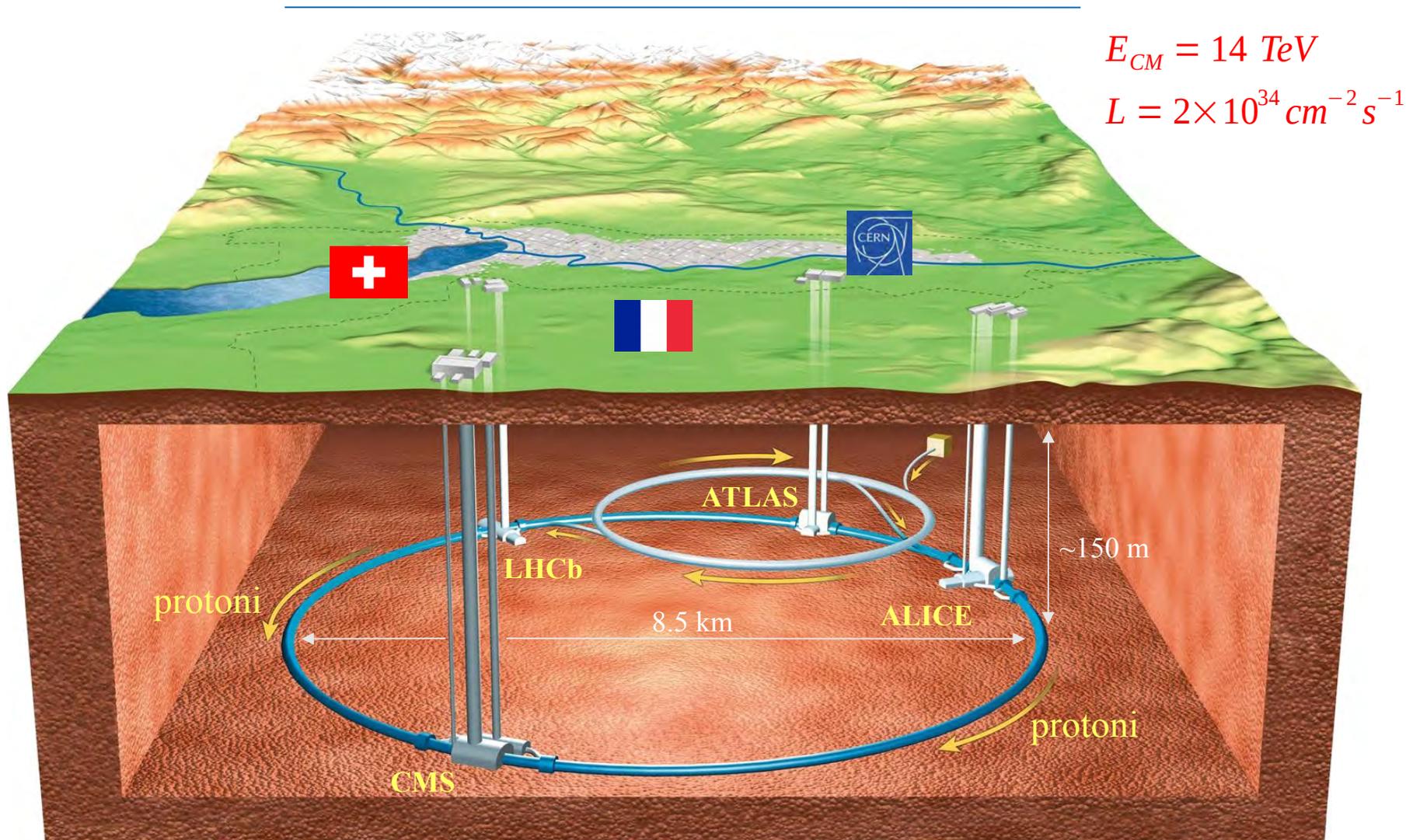


⇒ i muoni sono prodotti collimati (angolo θ_μ piccolo) e con grande momento nel sistema del laboratorio (dilatazione relativistica del tempo: $t_{\text{lab}} = \gamma\tau$).

Il Large Hadron Collider (LHC)

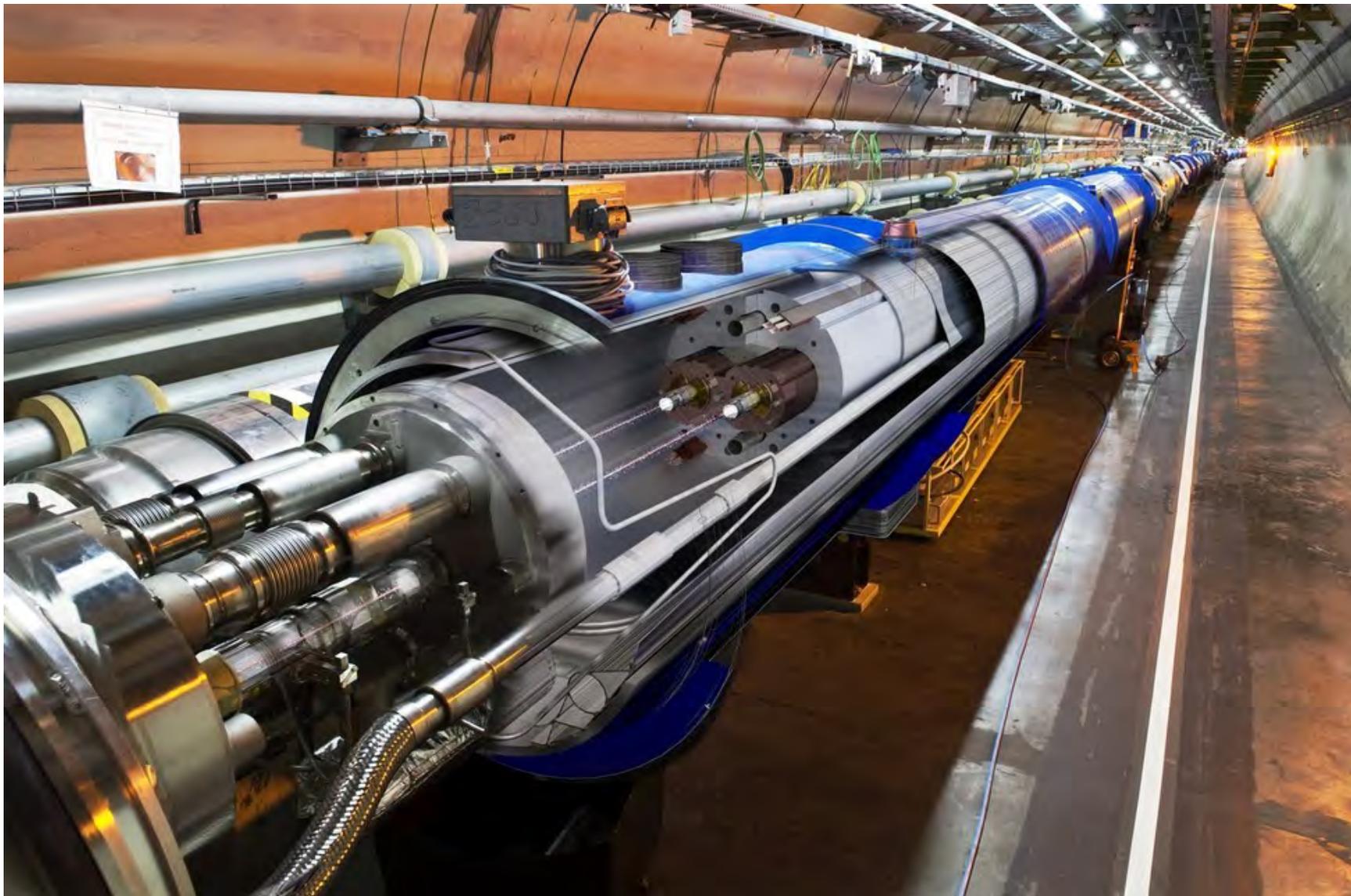


Il *Large Hadron Collider* (LHC)

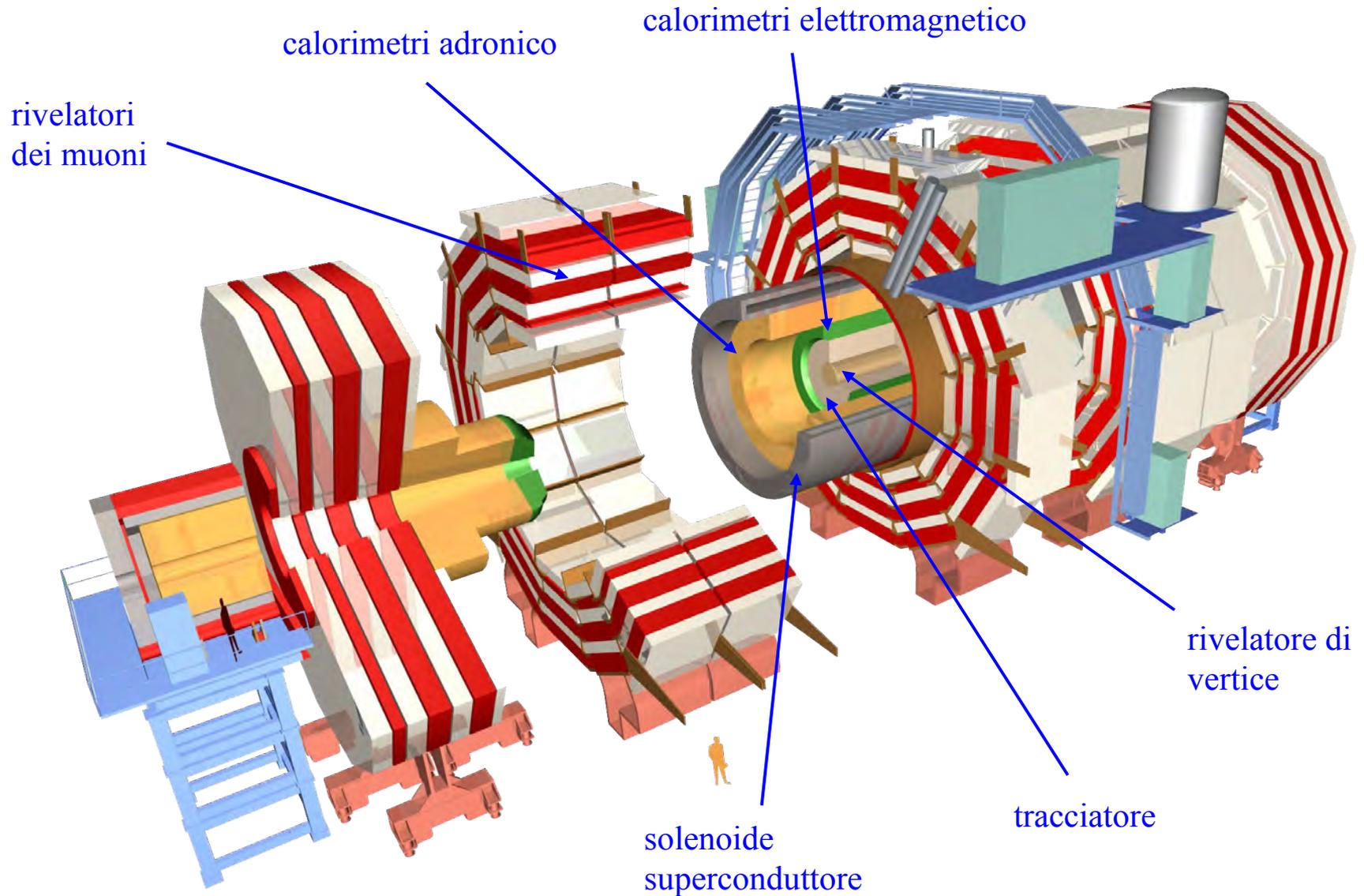


http://www.lhc-closer.es/taking_a_closer_look_at_lhc/1.lhc

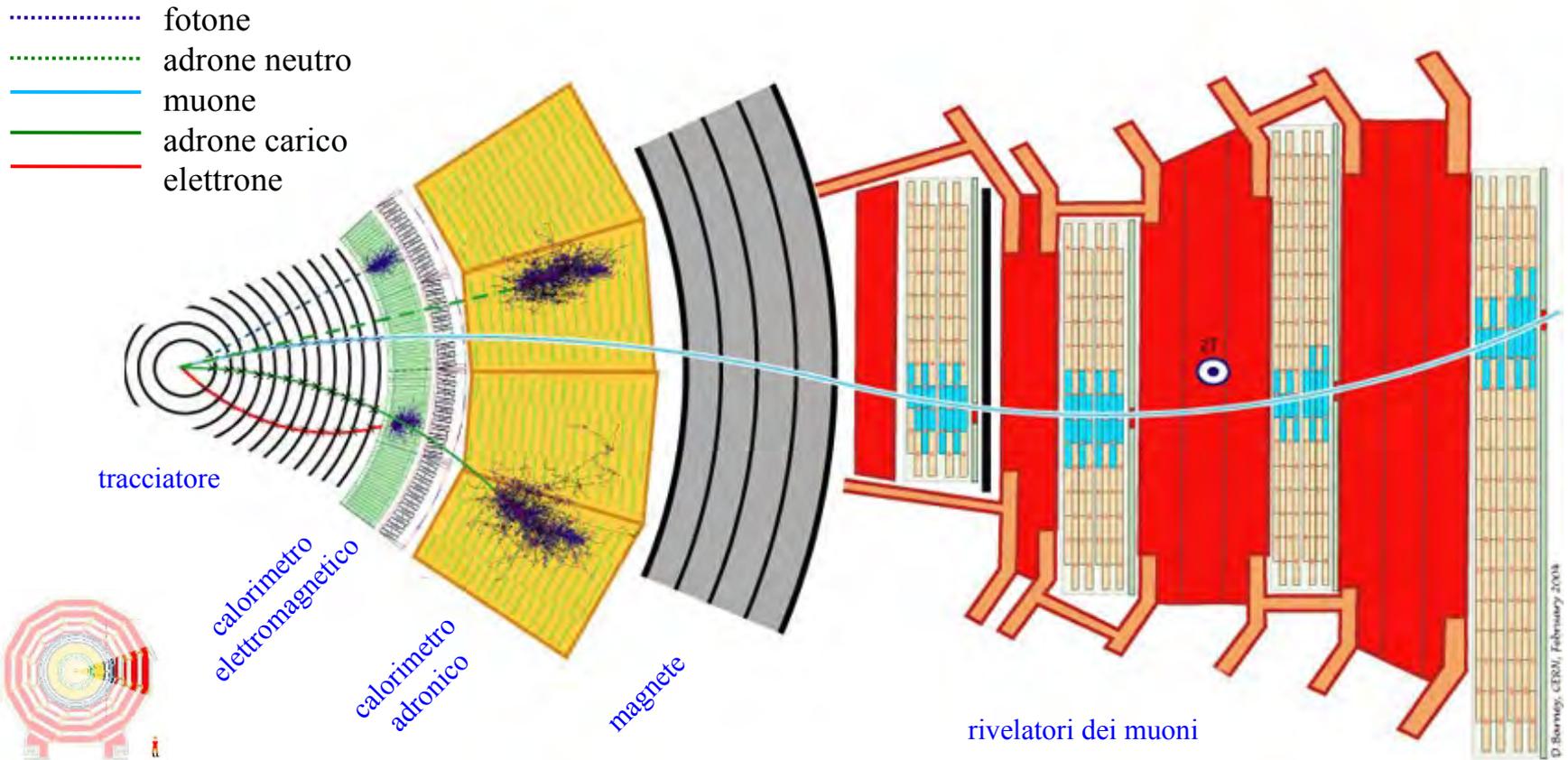
Il tunnel di LHC



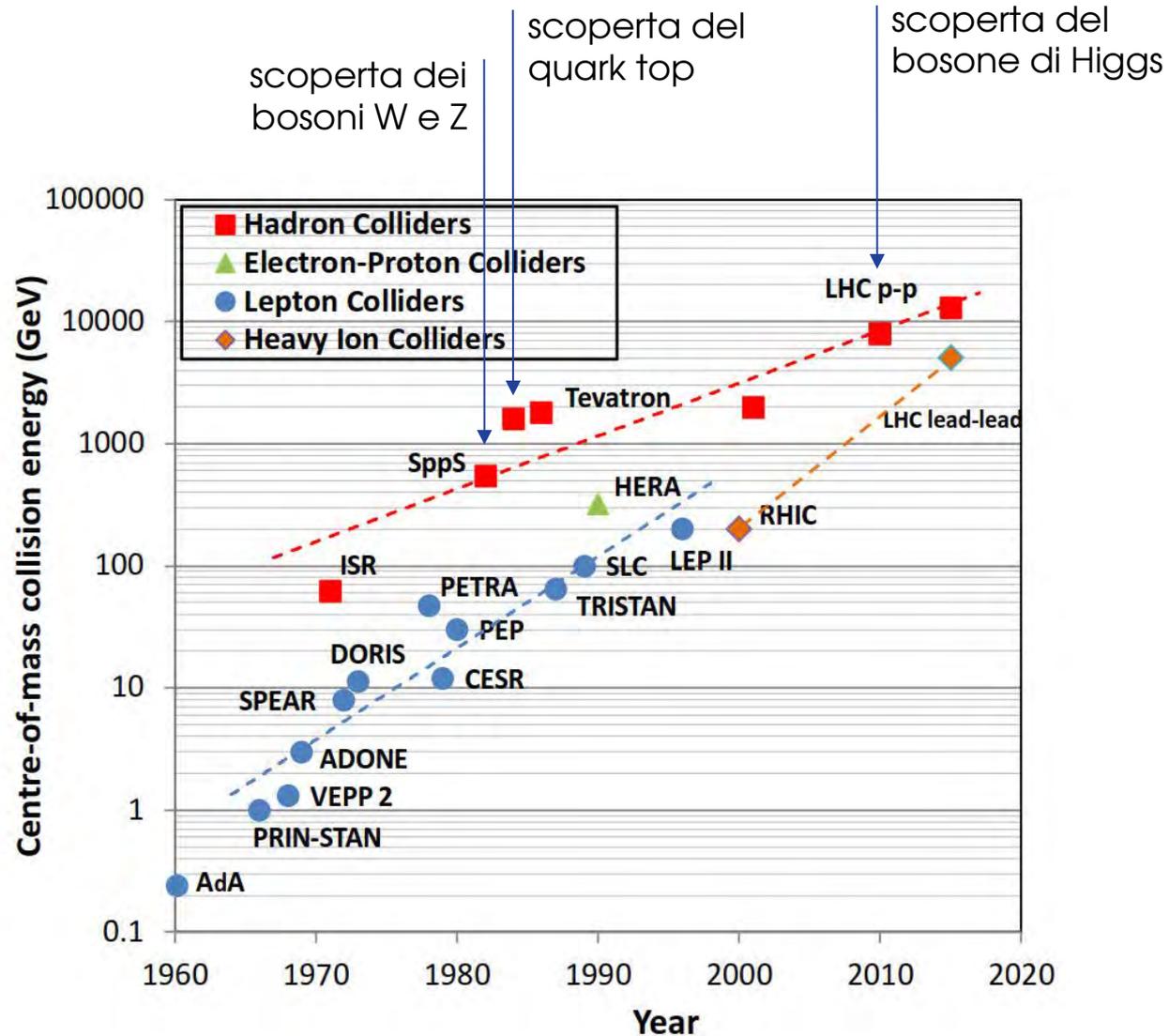
Esempio di un rivelatore a LHC: CMS



Ricostruzione delle particelle



Evoluzione dei *collider*



Acceleratori futuri (2030-2040)



Circular electron-positron Collider (in Cina):
collisioni elettrone-positrone a 91 e 240 GeV
in un anello di 100 km.

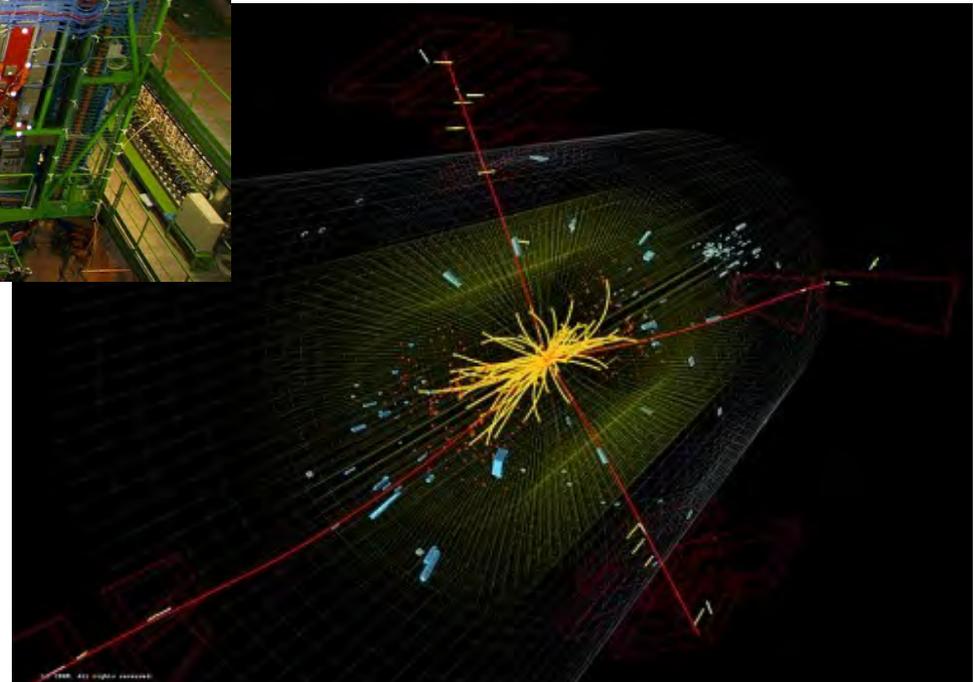
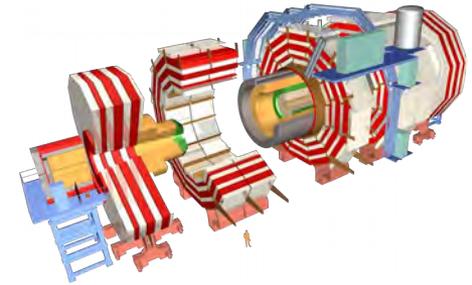
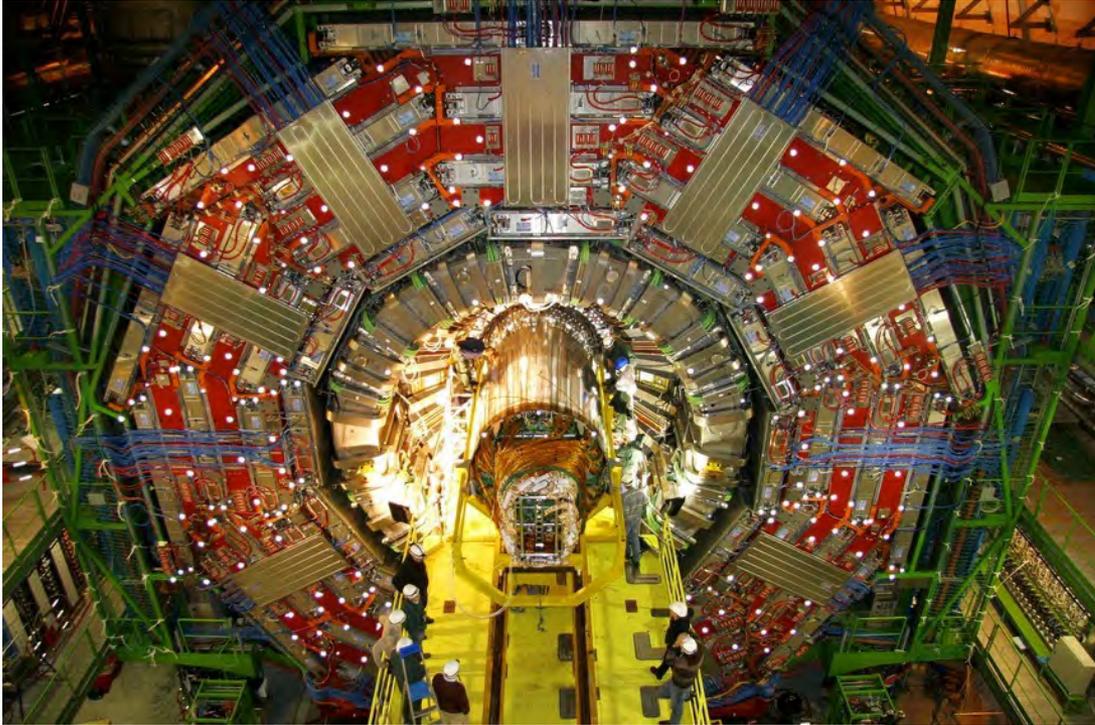


International Linear Collider (in Giappone?):
collisioni elettrone-positrone a 250 e 500 GeV.

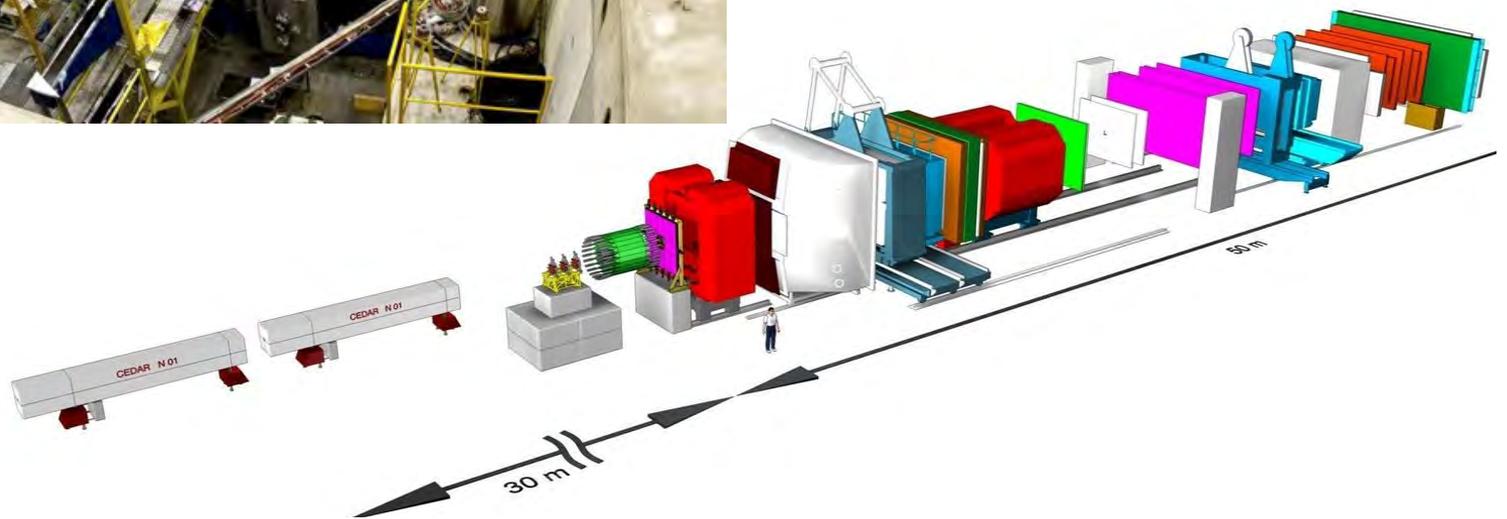
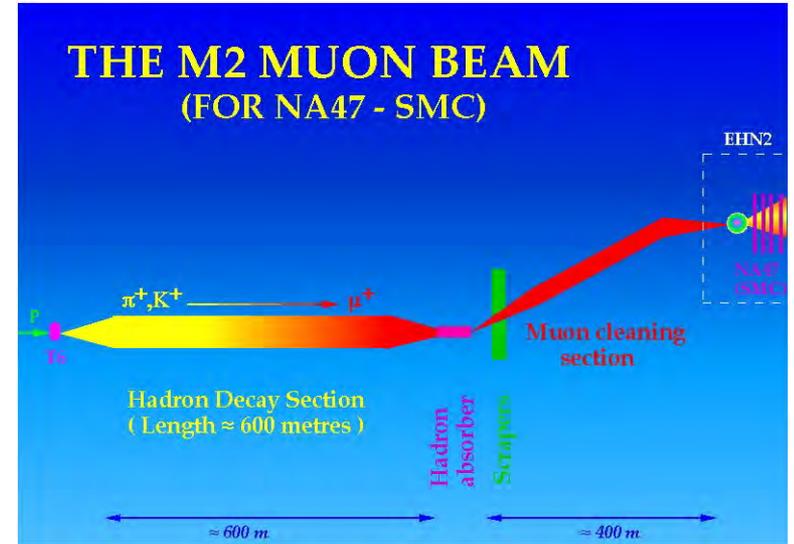


Muon Collider (in Europa?, USA?):
collisioni muone-antimuone, prodotti con che tecnologia?,
a 125 GeV, 6 TeV (?), 10 TeV (?)

A Trieste ... CMS



A Trieste ... COMPASS



A Trieste ... Belle 2

