



XIV INTERNATIONAL



MASTERCLASSES

hands on particle physics

**TECNICHE
SPERIMENTALI
IN FISICA DELLE
PARTICELLE**



MENÙ (STANDARD)

PARTICLES

QUARKS

u
UP

c
CHARM

t
TOP

d
DOWN

s
STRANGE

b
BOTTOM

LEPTONS

e
ELECTRON

μ
MUON

τ
TAU

ν_e
 e NEUTRINO

ν_μ
 μ NEUTRINO

ν_τ
 τ NEUTRINO

FORCE CARRIERS

γ
PHOTON

ELECTROMAGNETIC

g
GLUON

STRONG

Z, W
BOSONS

WEAK

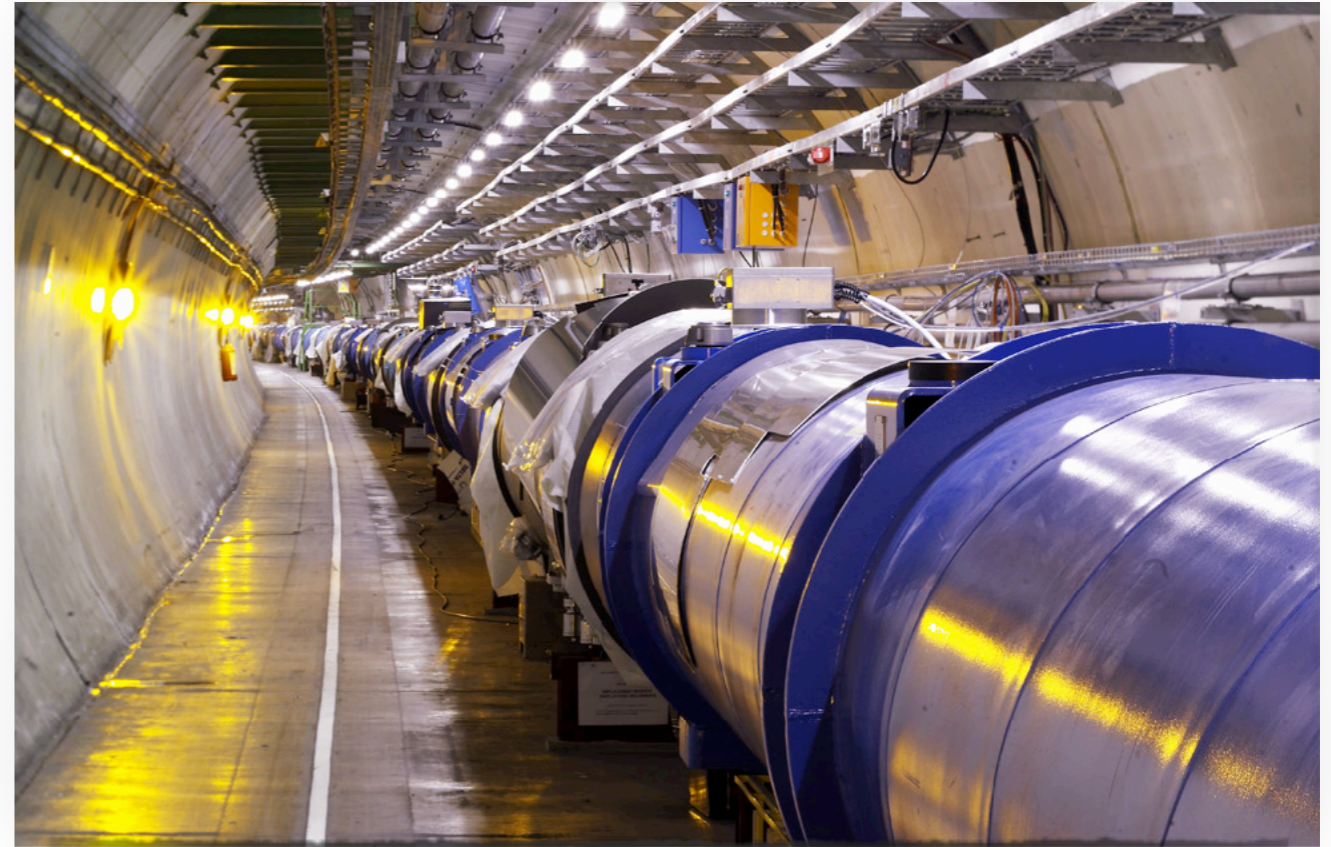
$?$
GRAVITON

GRAVITATIONAL



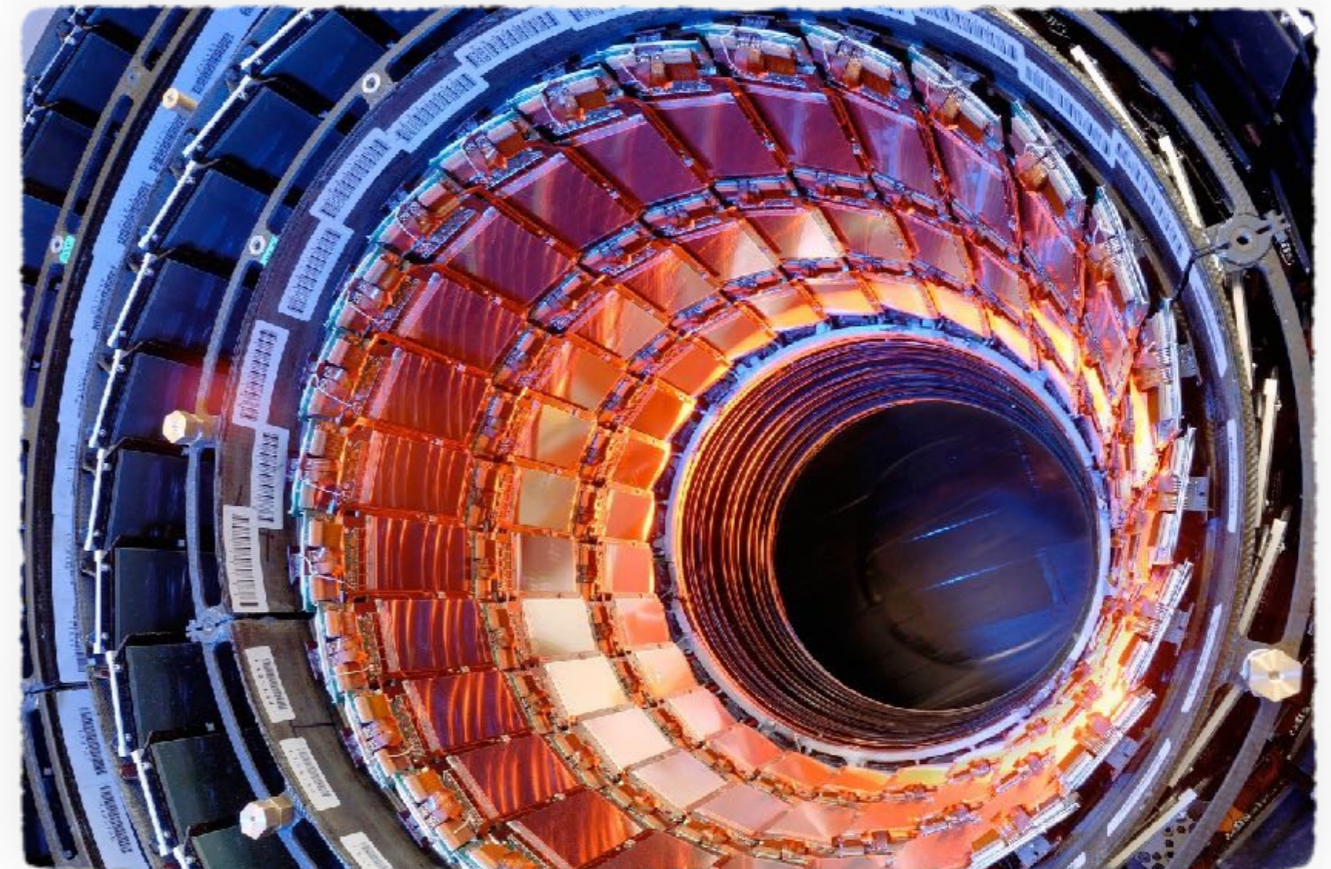
1 ▶ PRODURRE PARTICELLE

- ❑ acceleratori di particelle
- ❑ Large Hadron Collider (LHC)



2 ▶ RIVELARE PARTICELLE

- ❑ interazione con la materia
- ❑ rivelatori di particelle
- ❑ apparati sperimentali





ENERGIA: UNITÀ DI MISURA



In fisica delle particelle l'energia si misura in elettronvolt (eV)

1 eV = aumento di energia di un elettrone che si muove nel vuoto tra due punti posti ad 1 metro di distanza tra i quali vi è una differenza di potenziale pari a 1 volt

$$E = q V \quad 1 \text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Power of ten	Number	Symbol
10^{-12}	0.000000000001	p (pico)
10^{-9}	0.000000001	n (nano)
10^{-6}	0.000001	μ (micro)
10^{-3}	0.001	m (milli)
10^{-2}	0.01	
10^{-1}	0.1	
10^0	1	
10^1	10	
10^2	100	
10^3	1000	k (kilo)
10^6	1 000 000	M (mega)
10^9	1 000 000 000	G (giga)
10^{12}	1 000 000 000 000	T (tera)
10^{15}	1 000 000 000 000 000	P (peta)



ENERGIA: UNITÀ DI MISURA



In fisica delle particelle l'energia si misura in elettronvolt (eV)

1 eV = aumento di energia di un elettrone che si muove nel vuoto tra due punti posti ad 1 metro di distanza tra i quali vi è una differenza di potenziale pari a 1 volt

$$E = q V \quad 1 \text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Power of ten	Number	Symbol
10^{-12}	0.000000000001	p (pico)
10^{-9}	0.000000001	n (nano)
10^{-6}	0.000001	μ (micro)
10^{-3}	0.001	m (milli)
10^{-2}	0.01	
10^{-1}	0.1	
10^0	1	
10^1	10	
10^2	100	
10^3	1000	k (kilo)
10^6	1 000 000	M (mega)
10^9	1 000 000 000	G (giga)
10^{12}	1 000 000 000 000	T (tera)
10^{15}	1 000 000 000 000 000	P (peta)

▶ LHC energia 14 TeV = $22.4 \times 10^{-7} \text{ J}$

▶ ragazzo di 50 kg che salta da 1 m:
 $E = 50 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 500 \text{ J}$



ENERGIA: UNITÀ DI MISURA

In fisica delle particelle l'energia si misura in elettronvolt (eV)

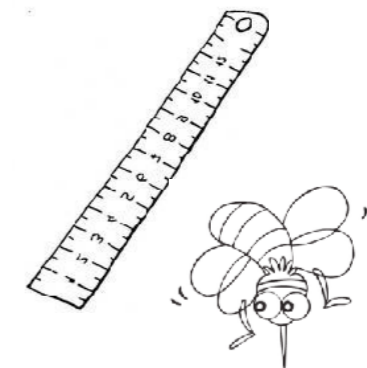
1 eV = aumento di energia di un elettrone che si muove nel vuoto tra due punti posti ad 1 metro di distanza tra i quali vi è una differenza di potenziale pari a 1 volt

$$E = q V \quad 1 \text{ eV} = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1 \text{ V}) = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Power of ten	Number	Symbol
10^{-12}	0.000000000001	p (pico)
10^{-9}	0.000000001	n (nano)
10^{-6}	0.000001	μ (micro)
10^{-3}	0.001	m (milli)
10^{-2}	0.01	
10^{-1}	0.1	
10^0	1	
10^1	10	
10^2	100	
10^3	1000	k (kilo)
10^6	1 000 000	M (mega)
10^9	1 000 000 000	G (giga)
10^{12}	1 000 000 000 000	T (tera)
10^{15}	1 000 000 000 000 000	P (peta)

► LHC energia 14 TeV = $22.4 \times 10^{-7} \text{ J}$

► ragazzo di 50 kg che salta da 1 m:
 $E = 50 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ m} = 500 \text{ J}$

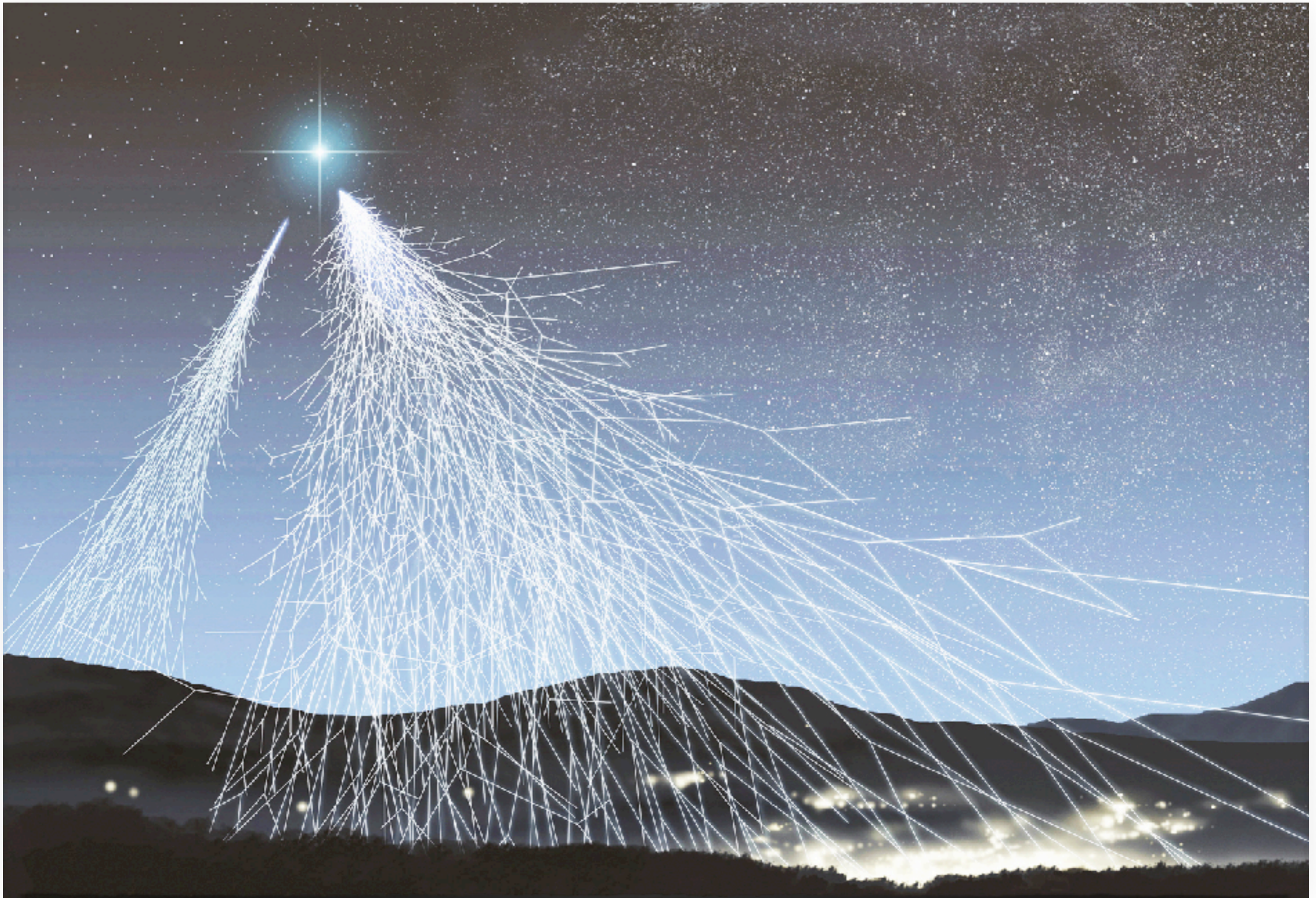


zanzara: 1 TeV in $\sim \text{cm}$

protone: 7 TeV in 10^{-13} cm



PARTICELLE: DOVE?



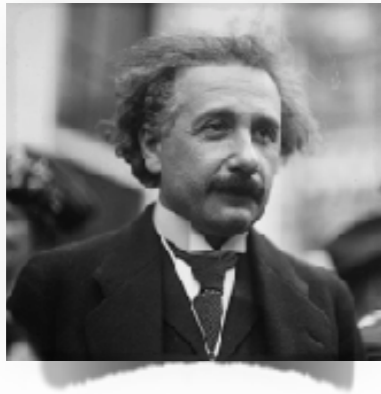


PARTICELLE: DOVE?





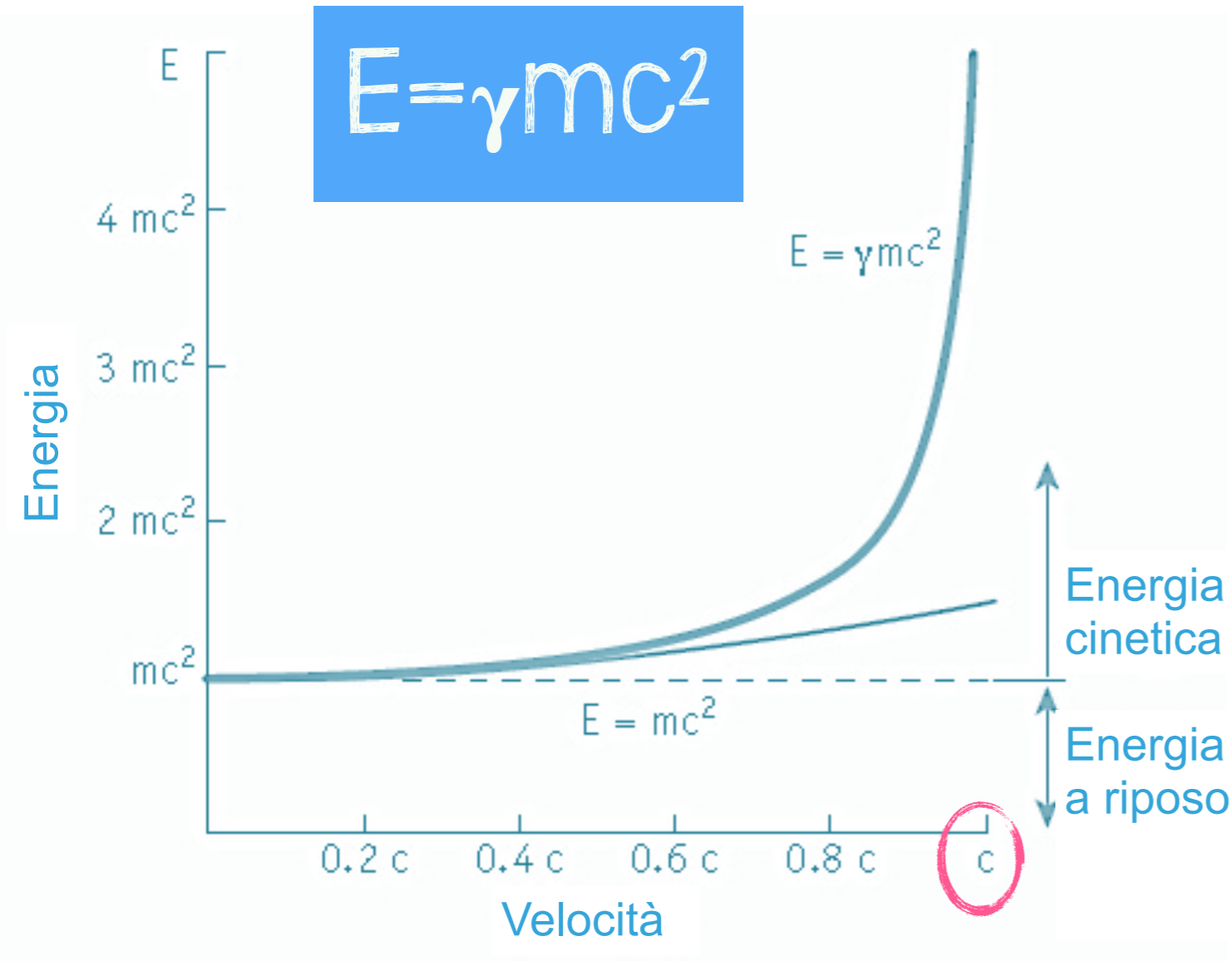
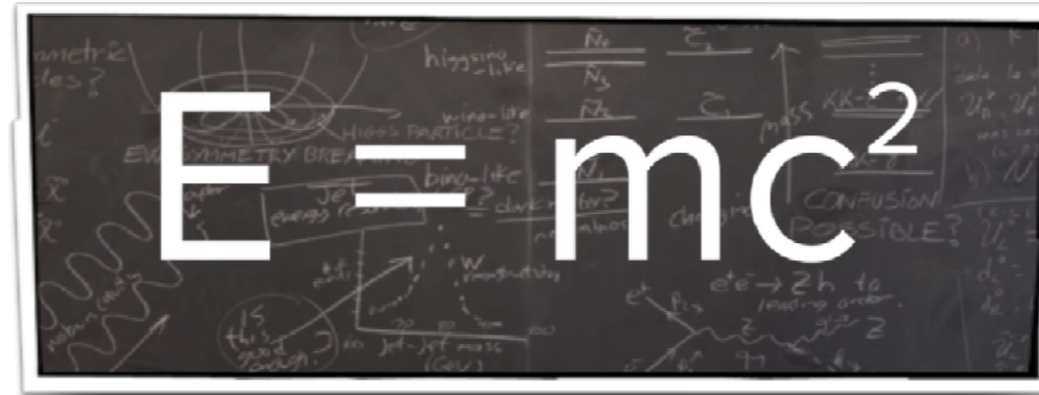
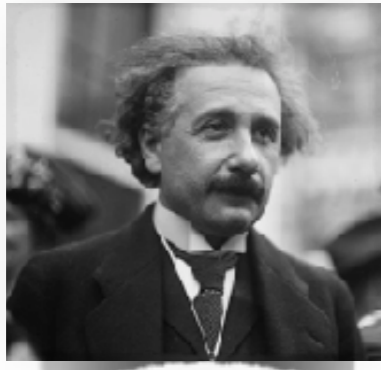
PRODURRE DI PARTICELLE



A chalkboard with the equation $E = mc^2$ written in large white letters. The board is covered with faint, handwritten notes and diagrams in white chalk, including terms like 'higgs-like', 'wind-like', 'HIGGS PARTICLE?', 'SYMMETRY BREAK', 'dark matter', 'CONFUSION POSSIBLE?', and 'IS this good enough?'. There are also some mathematical symbols and arrows scattered across the board.

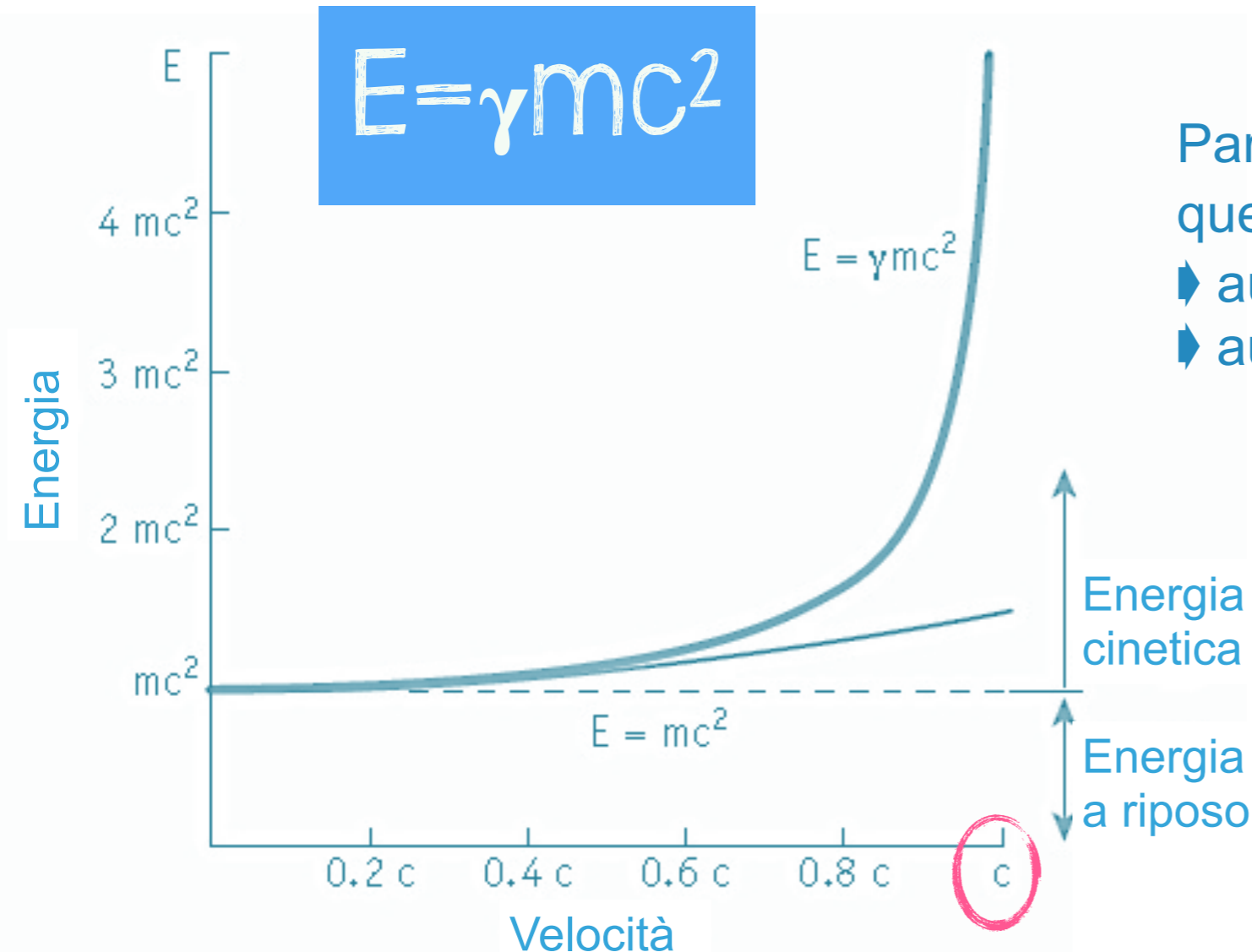
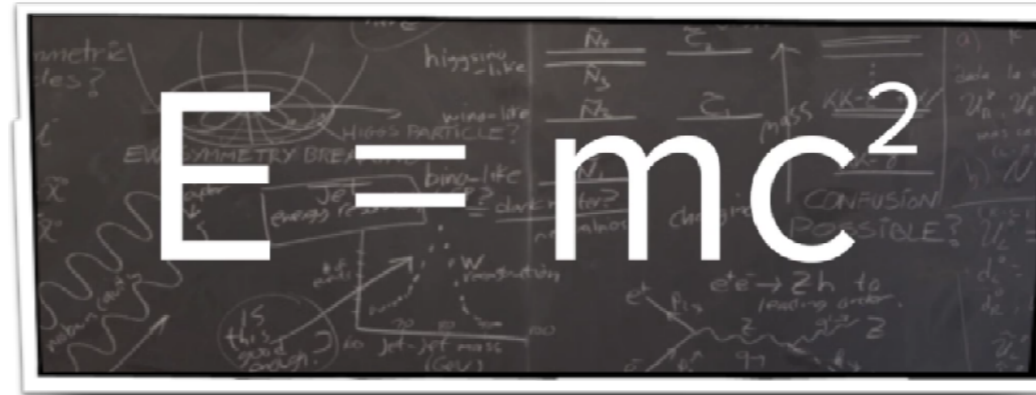
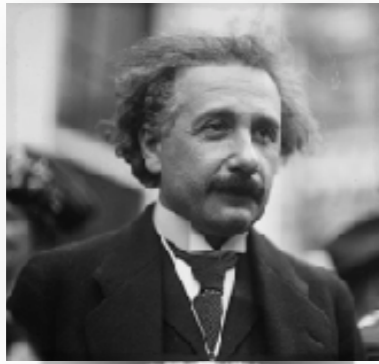


PRODURRE DI PARTICELLE





PRODURRE DI PARTICELLE



- Particelle accelerate a velocità prossime a quella della luce ($0.9999999991 \cdot c$ a LHC)
- ▶ aumenta l'energia cinetica delle particelle
 - ▶ aumenta la massa delle particelle



PRODUZIONE DI PARTICELLE

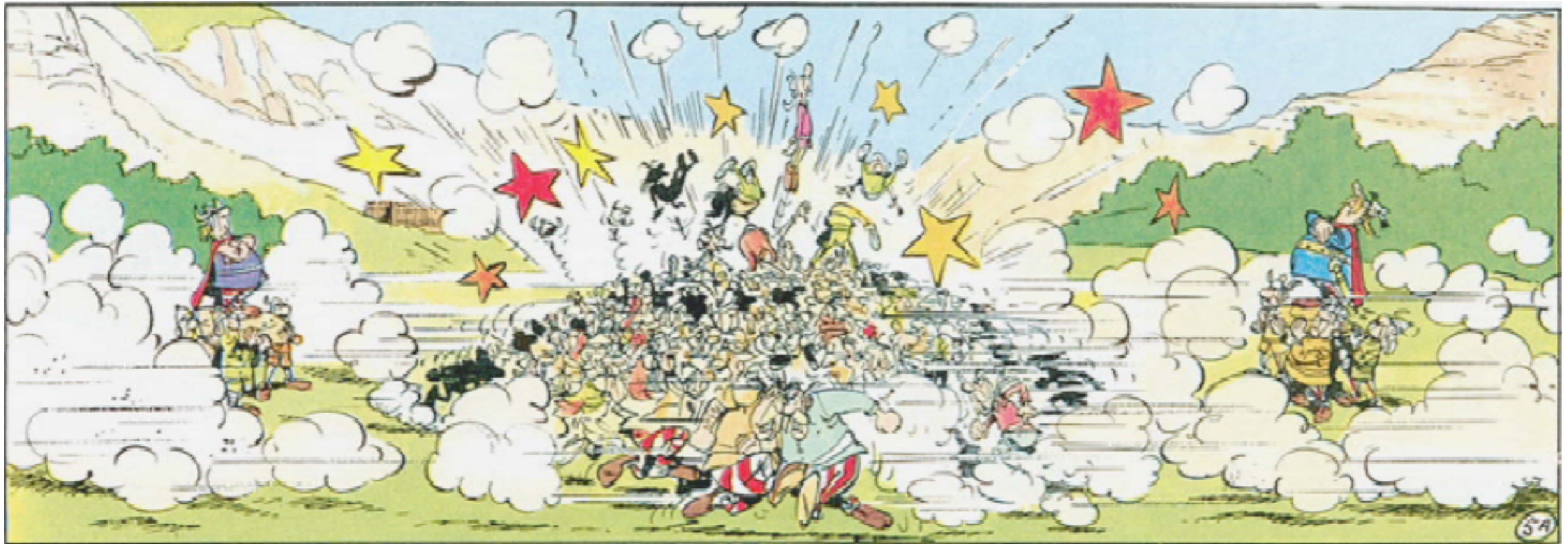
$$E = mc^2$$



PRODUZIONE DI PARTICELLE

$$E = mc^2$$

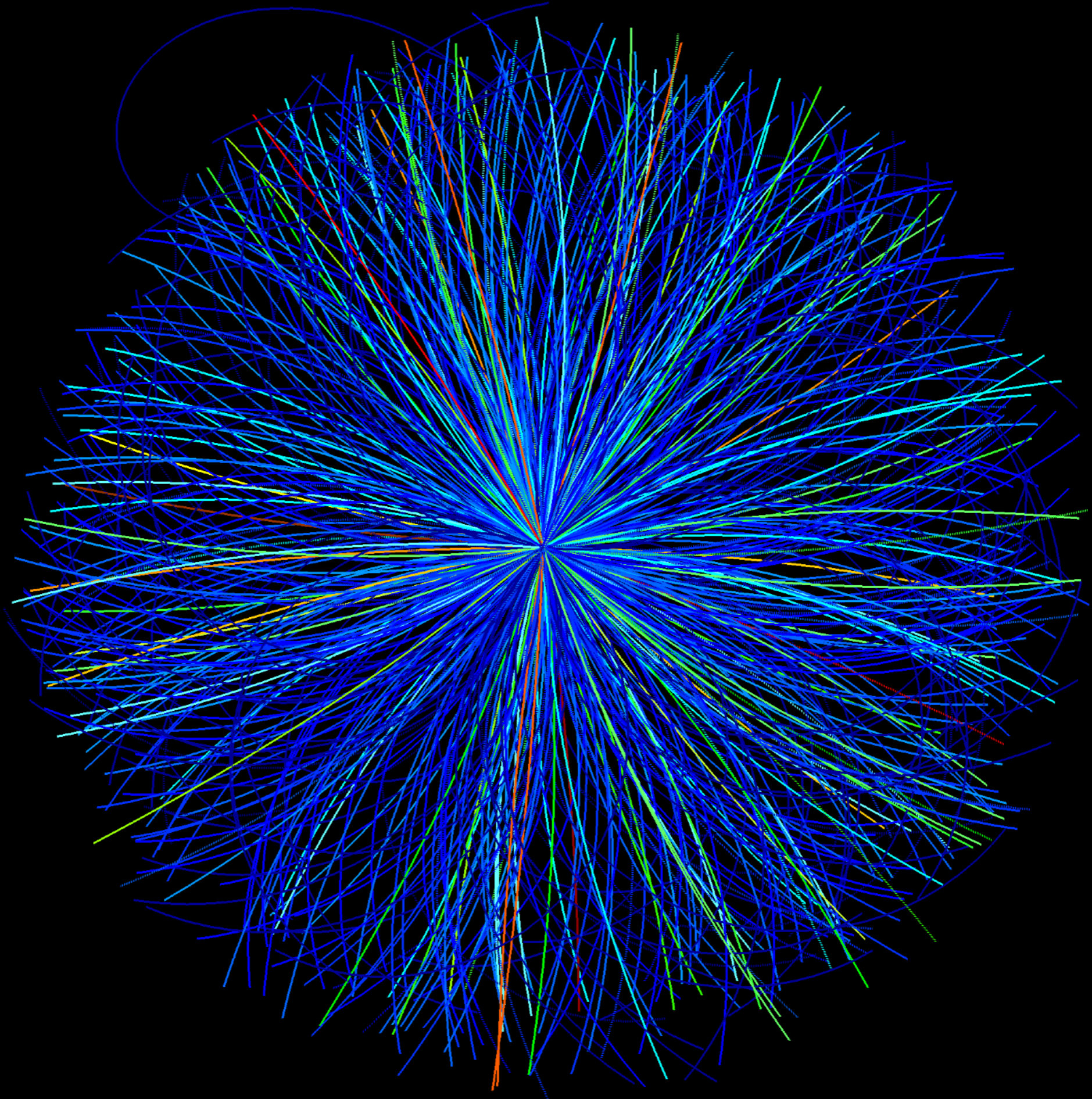
Lo studio dei prodotti della collisione permette di investigare i costituenti fondamentali della materia e le forze che agiscono tra di loro.

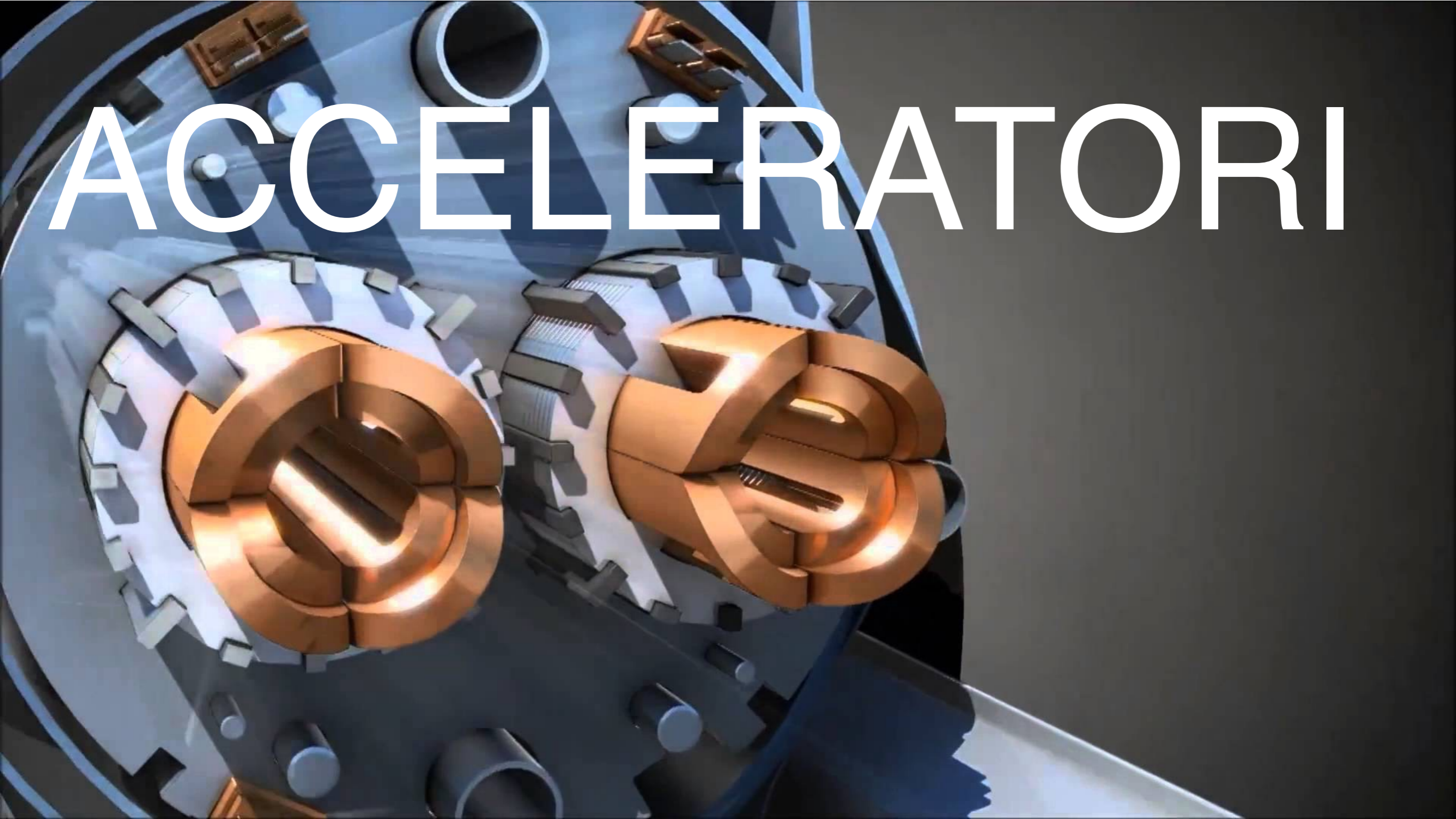




Lo studio di
fondamen

enti



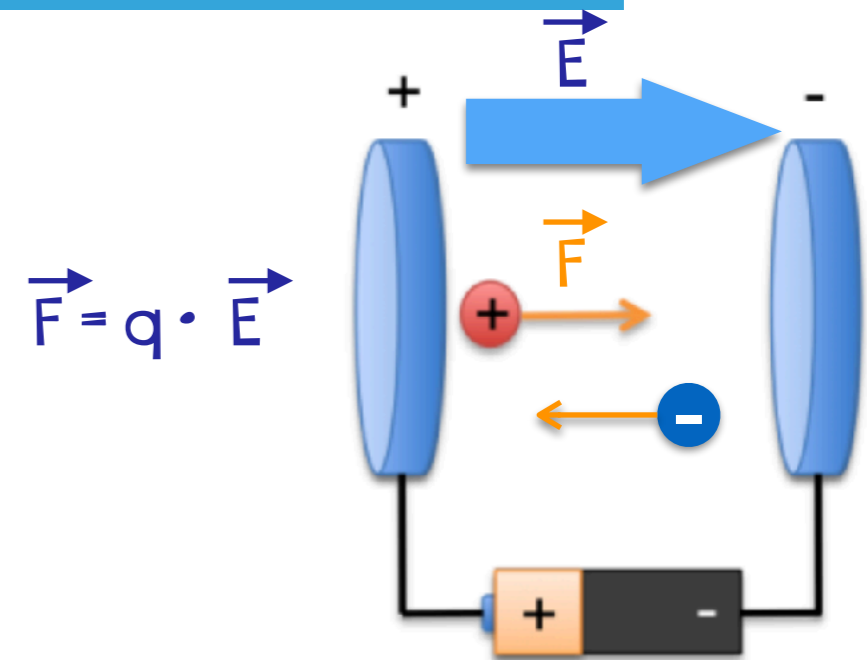


ACCELERATORI



ACCELERARE PARTICELLE

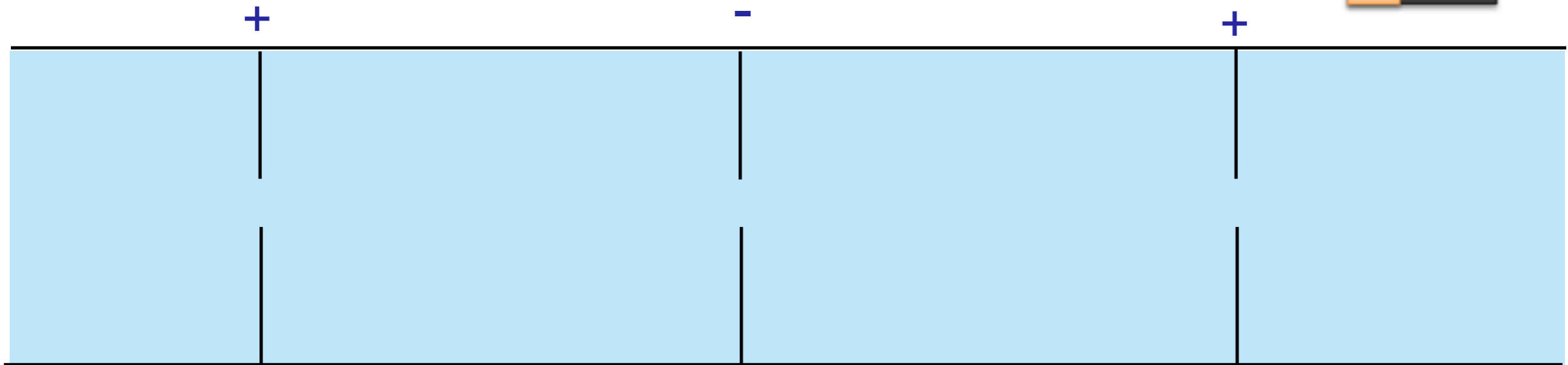
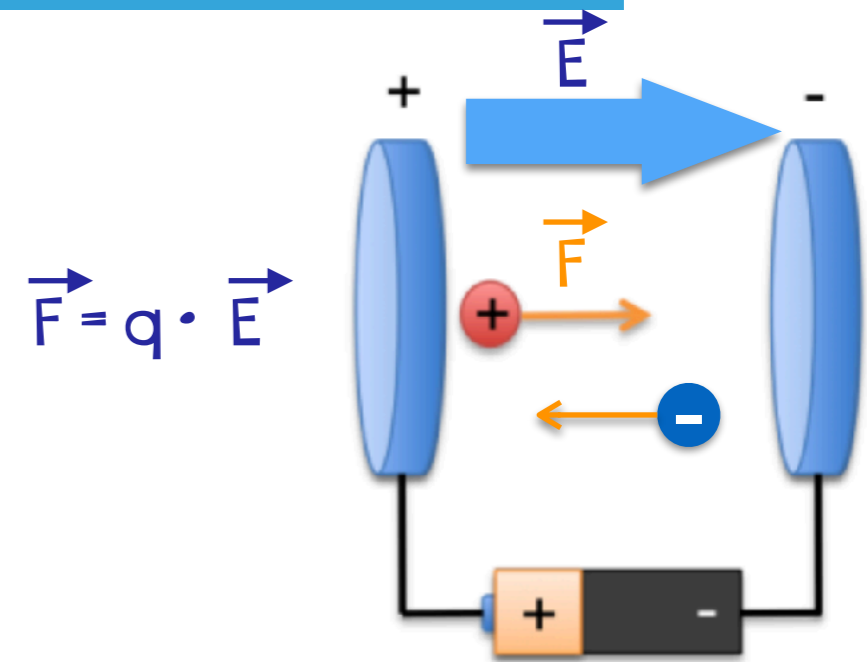
- si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE** usando **CAMPI ELETTRICI**





ACCELERARE PARTICELLE

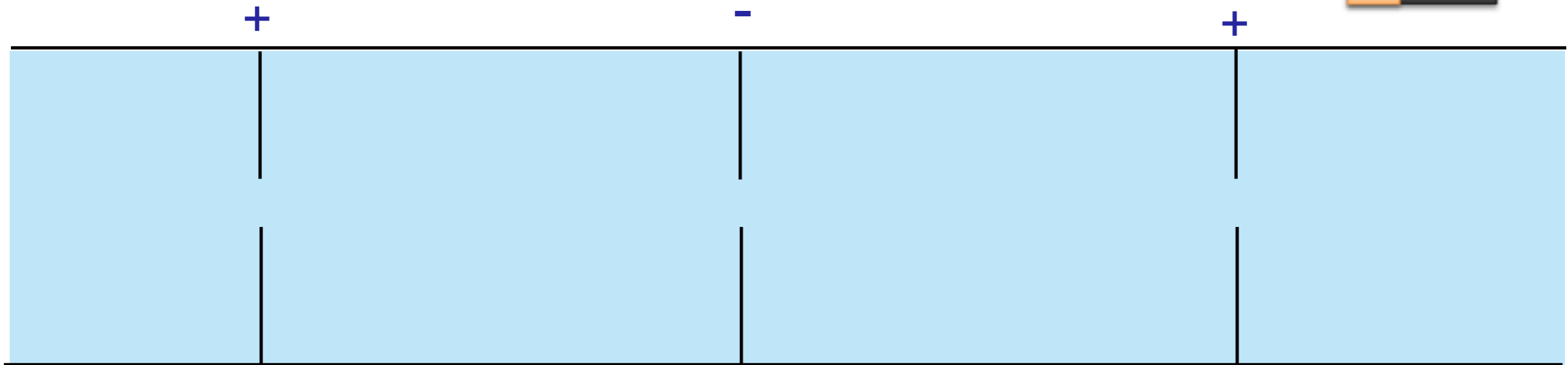
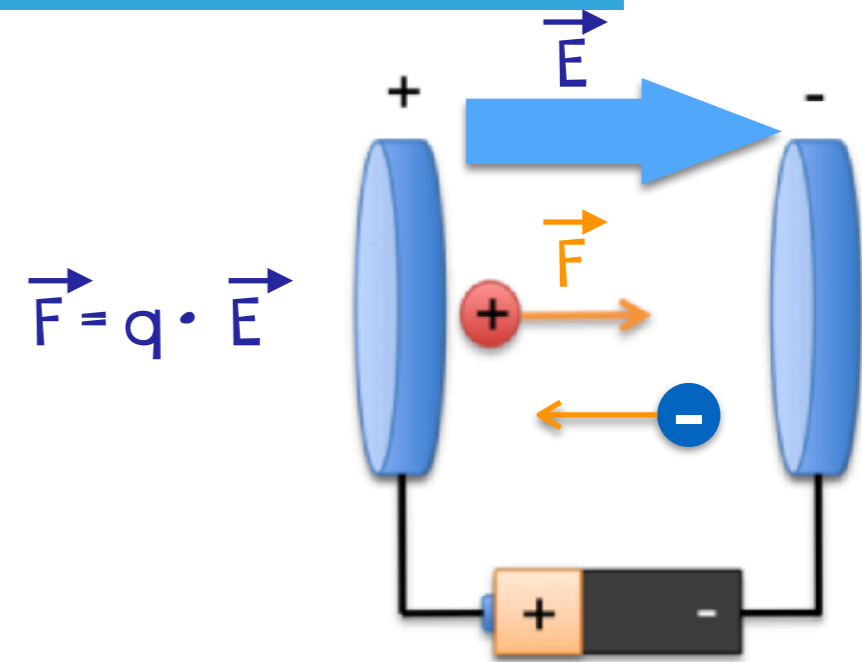
□ si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE**
usando **CAMPI ELETTRICI**





ACCELERARE PARTICELLE

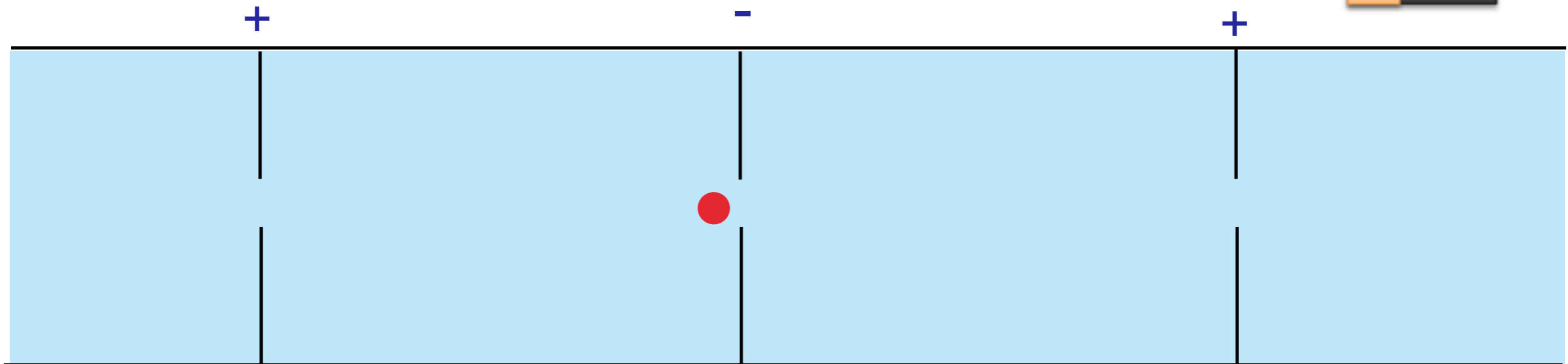
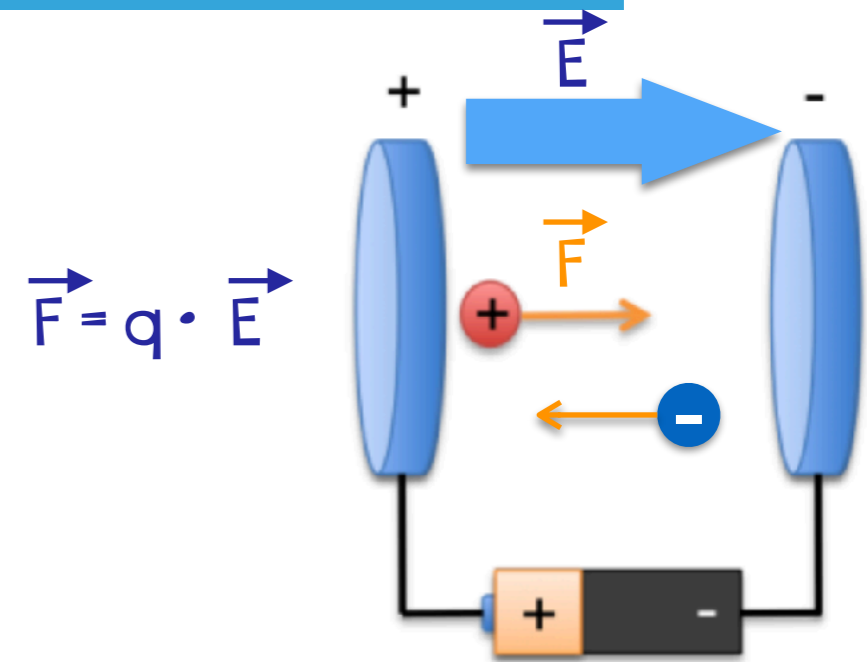
□ si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE**
usando **CAMPI ELETTRICI**





ACCELERARE PARTICELLE

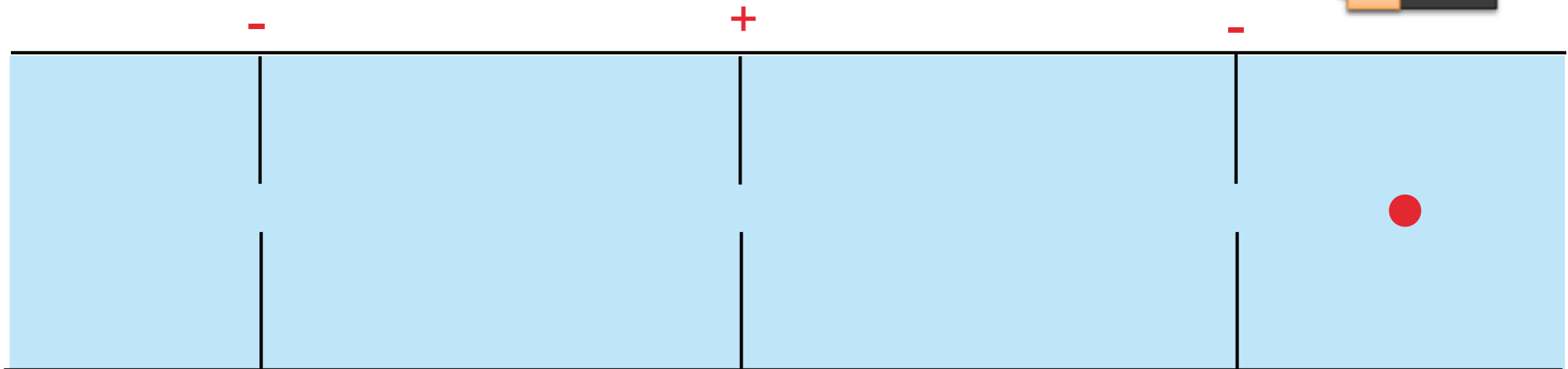
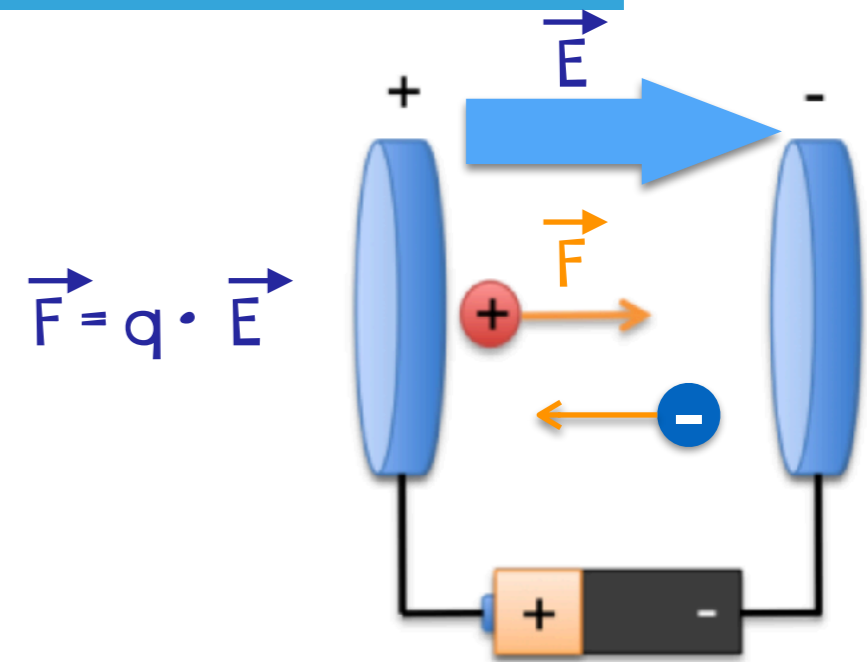
□ si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE**
usando **CAMPI ELETTRICI**





ACCELERARE PARTICELLE

□ si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE**
usando **CAMPI ELETTRICI**

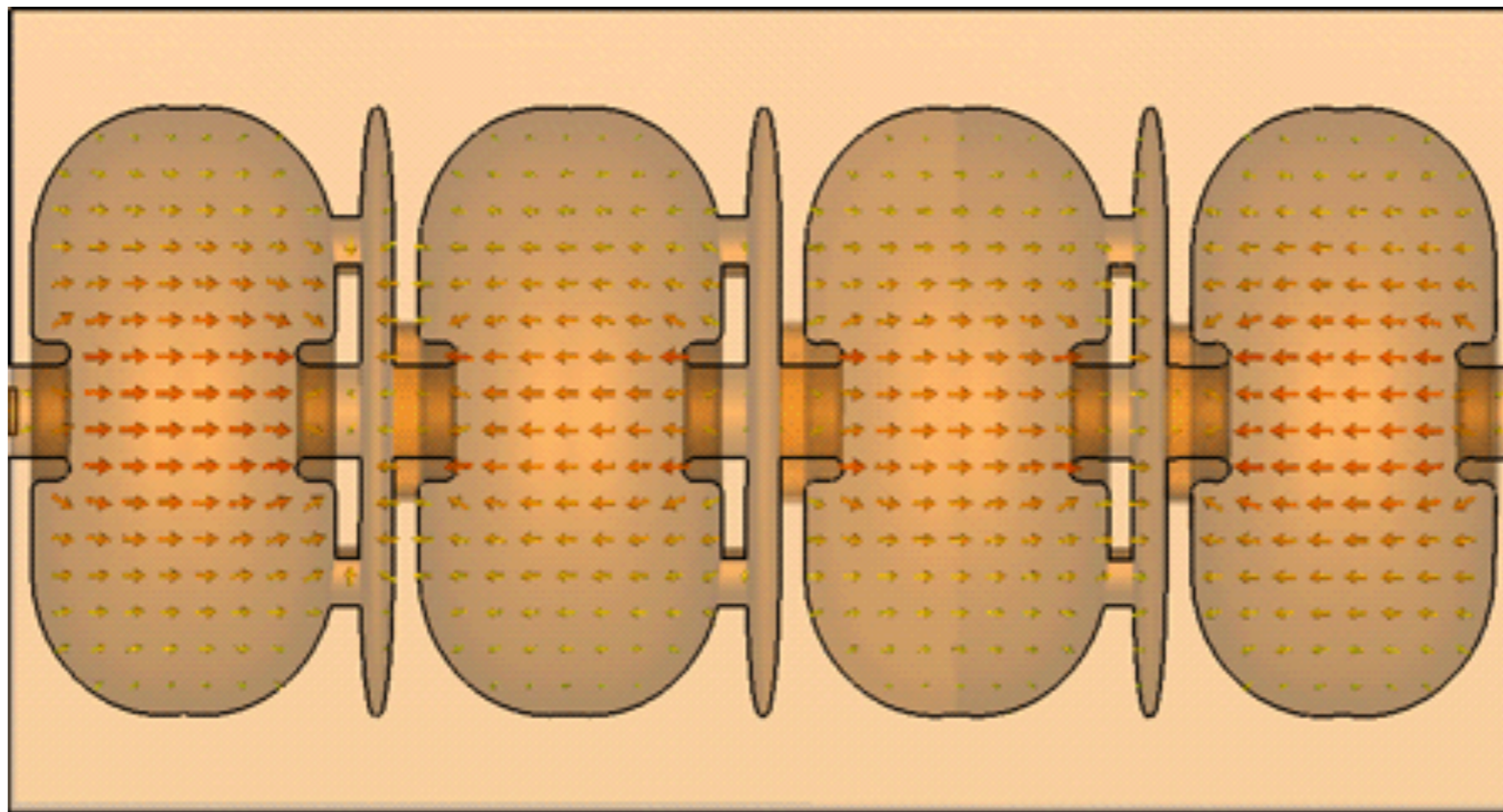
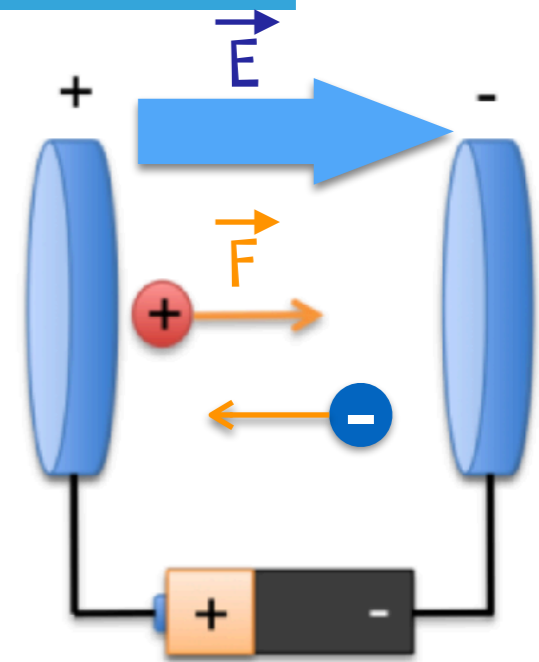




ACCELERARE PARTICELLE

- si possono accelerare **PARTICELLE CARICHE** usando **CAMPI ELETTRICI**

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

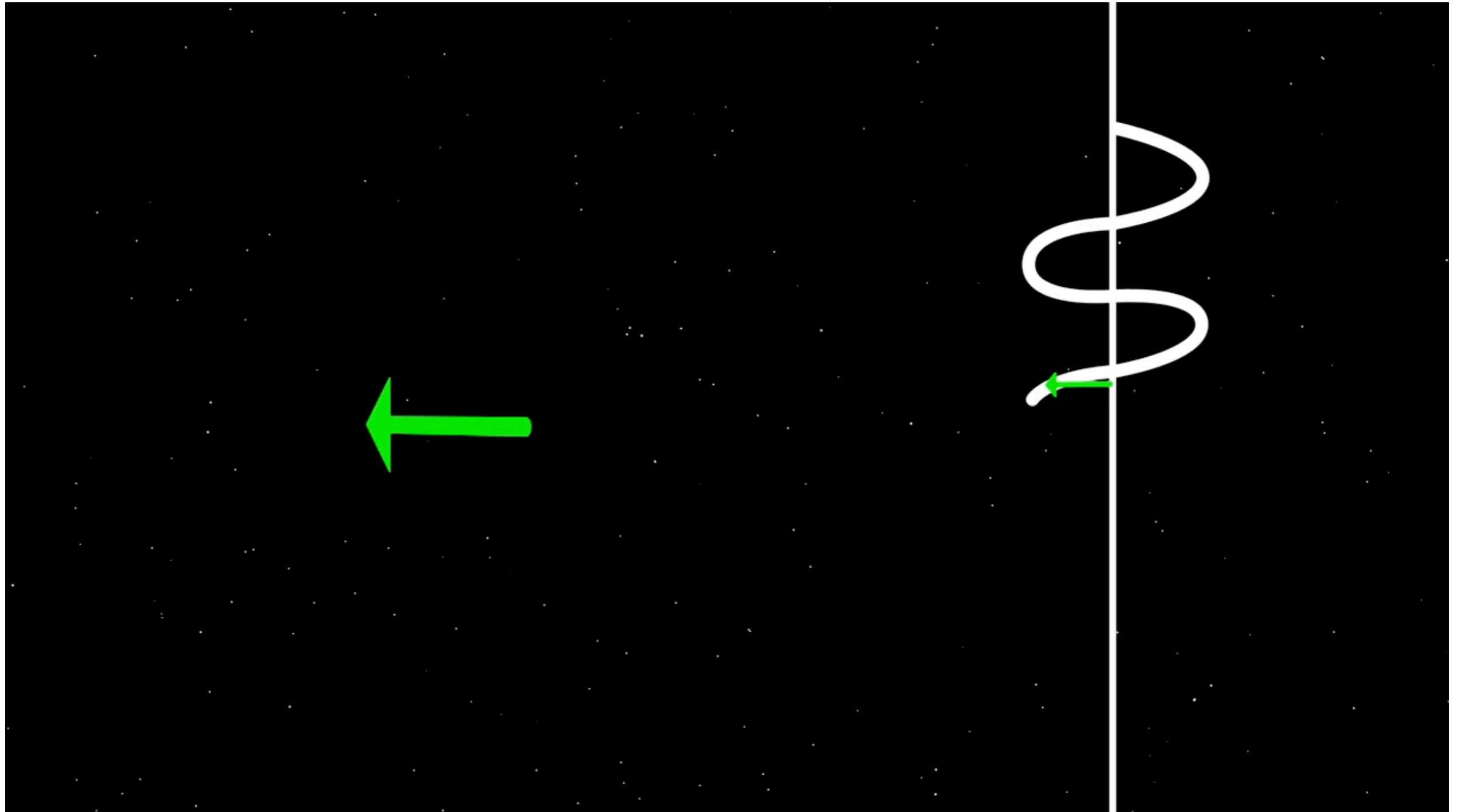


- la direzione del campo elettrico va invertita in maniera sincrona con il passaggio della particella ➔ **RADIOFREQUENZE**



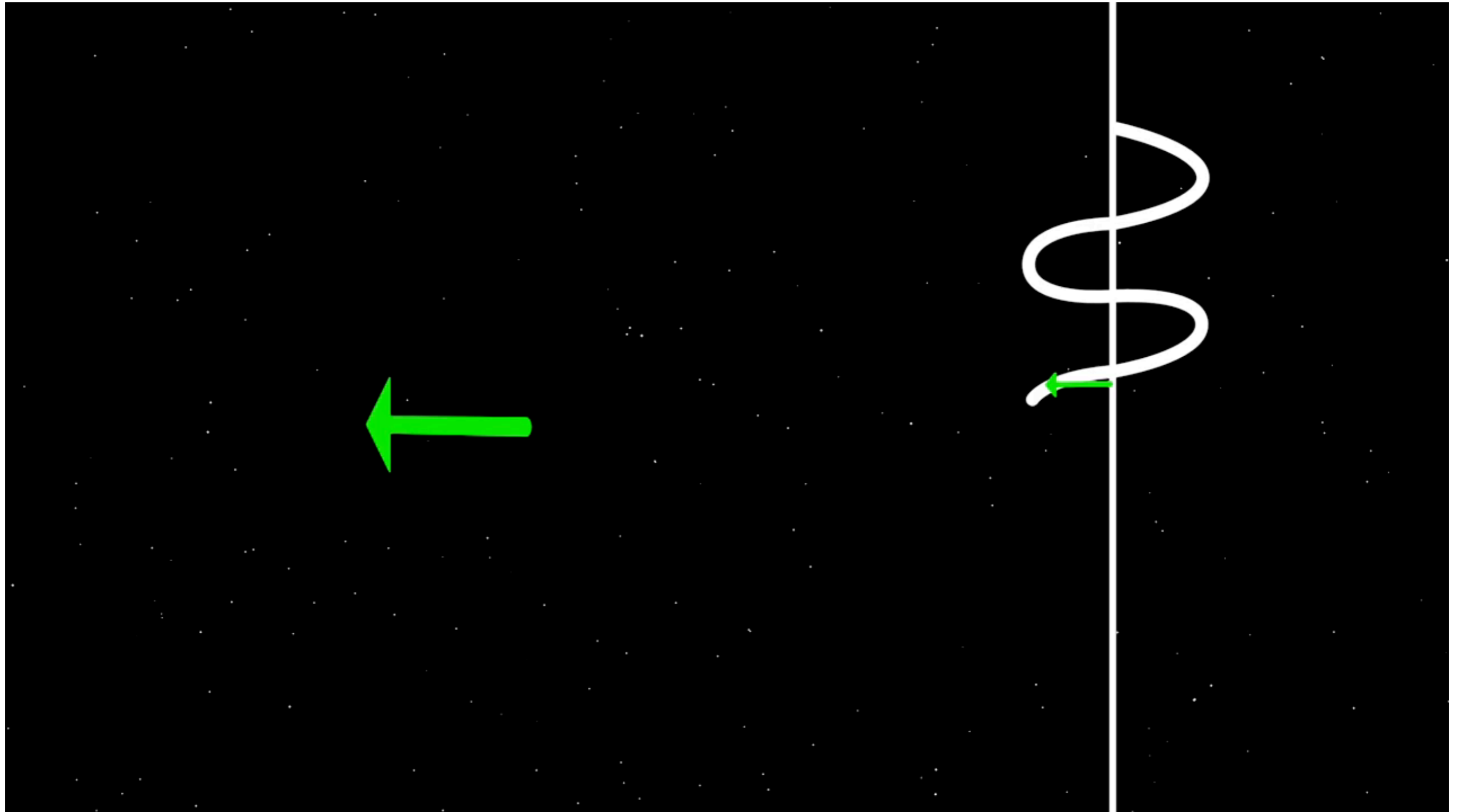


PACCHETTI DI PARTICELLE



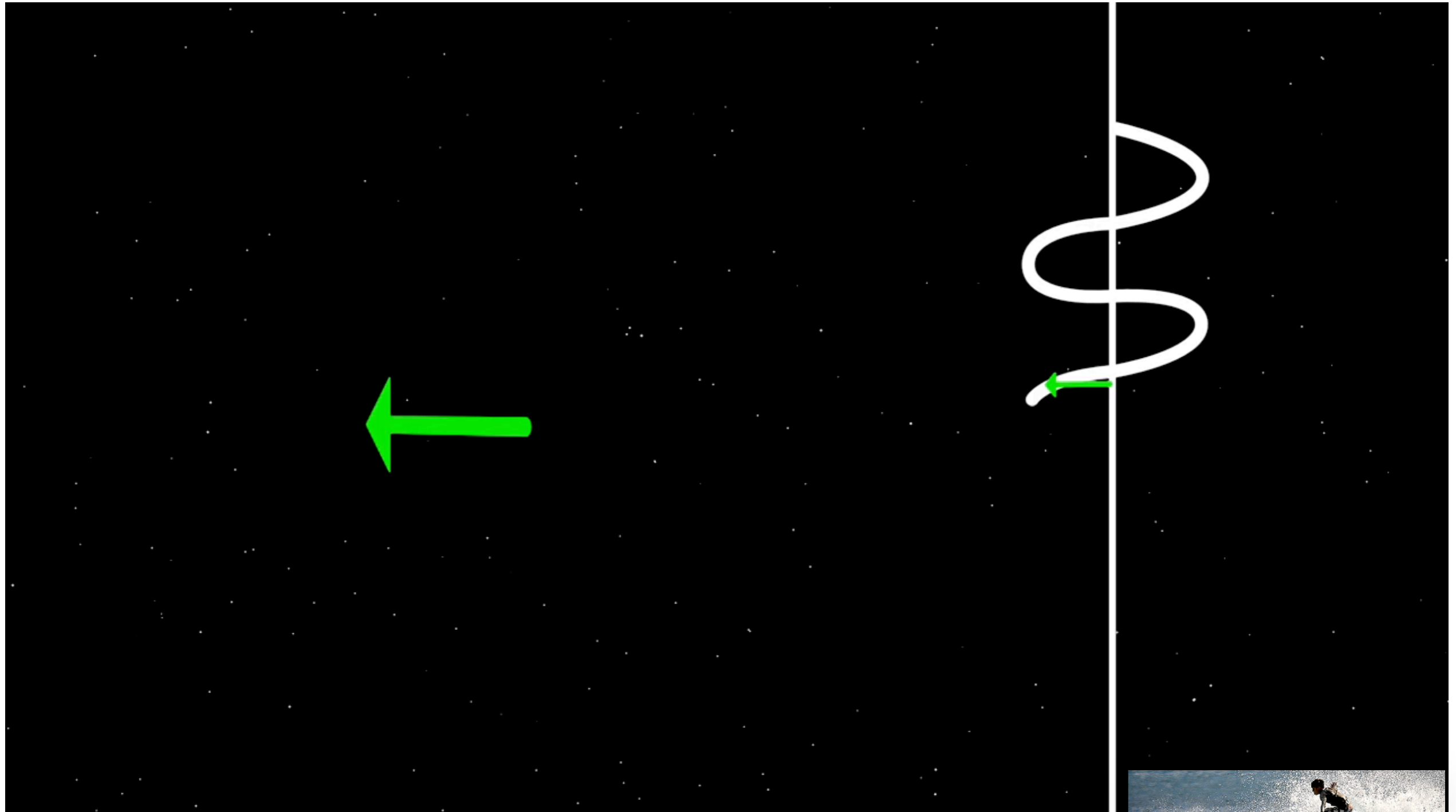


PACCHETTI DI PARTICELLE





PACCHETTI DI PARTICELLE

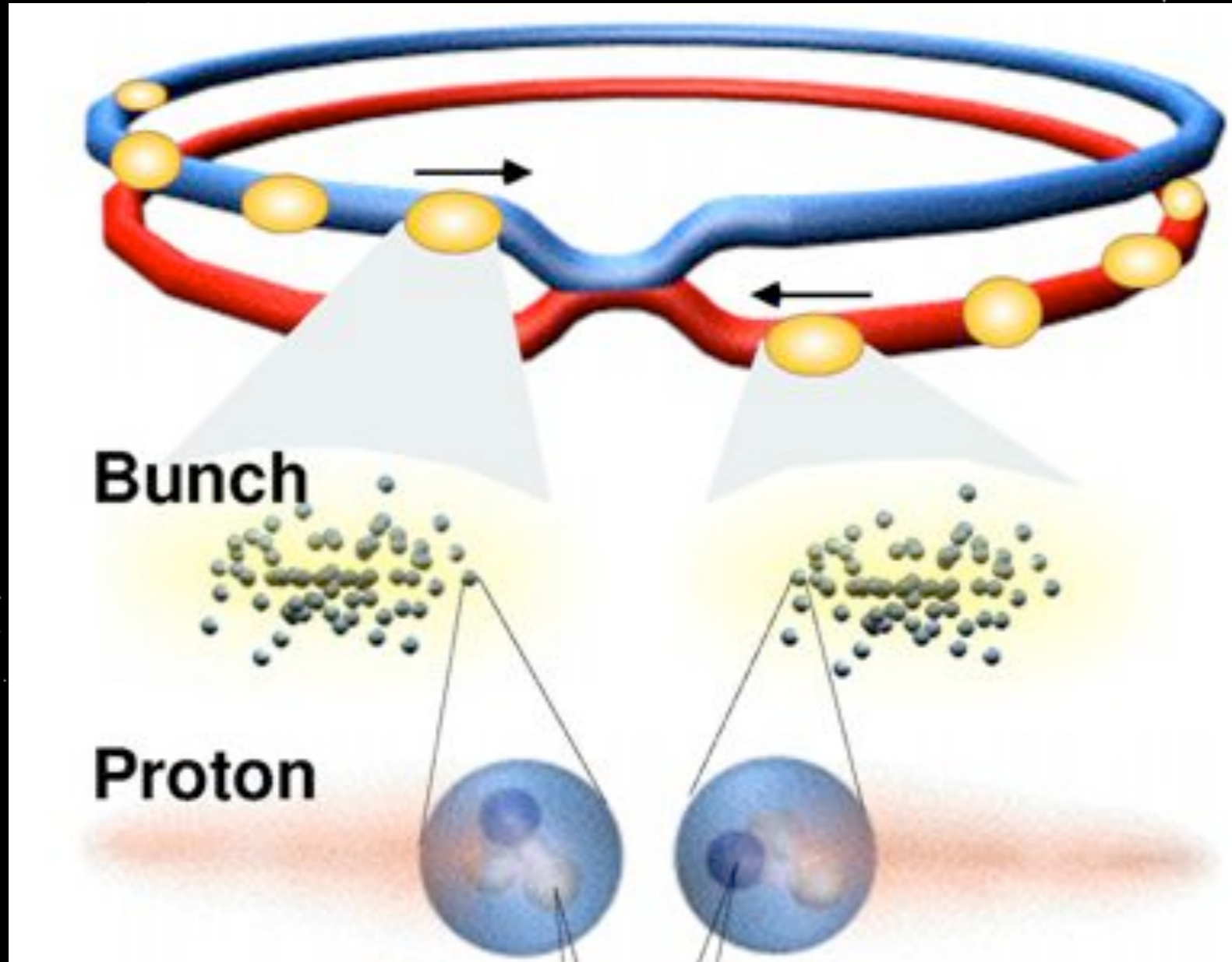


□ i fasci di particelle negli acceleratori hanno una struttura a “bunches” ovvero a pacchetti





PACCHETTI DI PARTICELLE

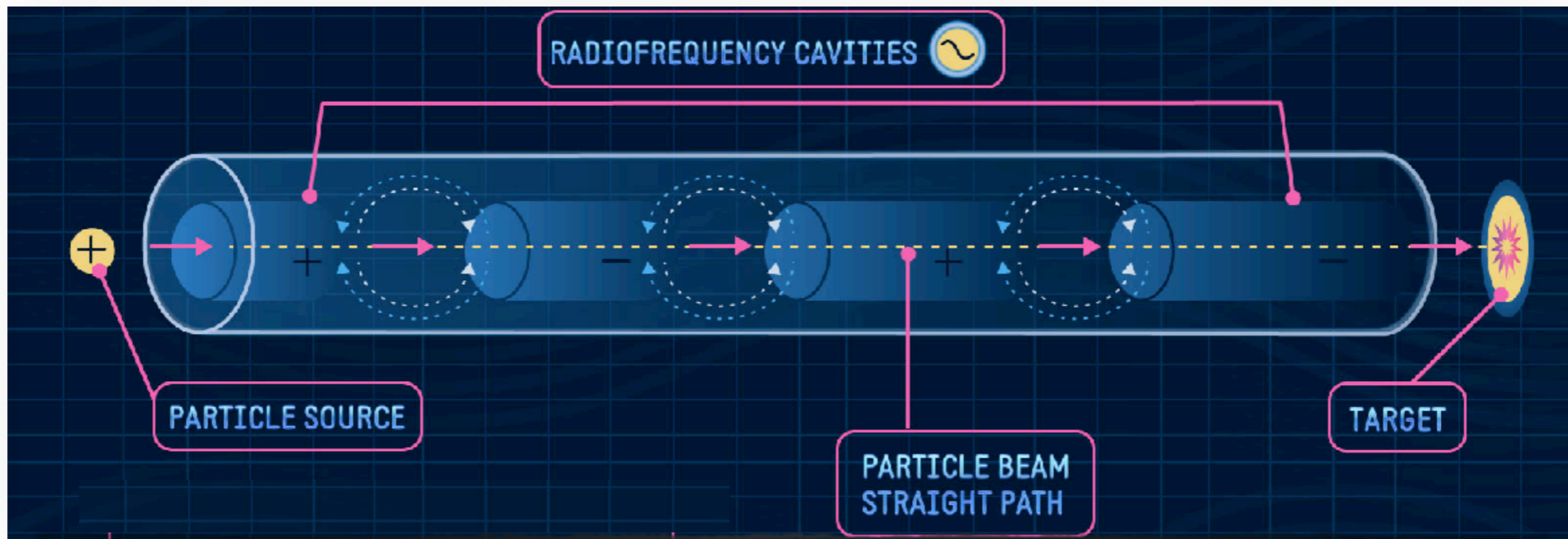


□ i fasci di particelle negli acceleratori hanno una struttura a “bunches” ovvero a pacchetti





ACCELERATORI LINEARI



- le particelle proiettile sono accelerate una sola volta prima di urtare contro un bersaglio fisso
- energia nel centro di massa $E = \sqrt{2m E_{\text{beam}}}$
- l'energia che si può raggiungere è limitata dalla lunghezza dell'acceleratore
Il più lungo 3.2 km a SLAC raggiunge ~90 MeV

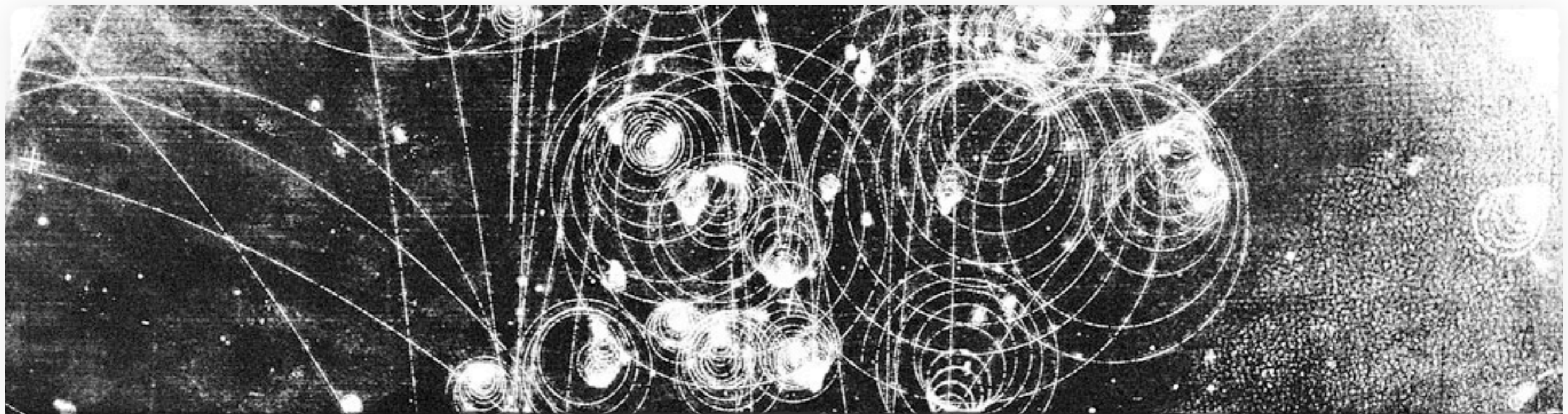
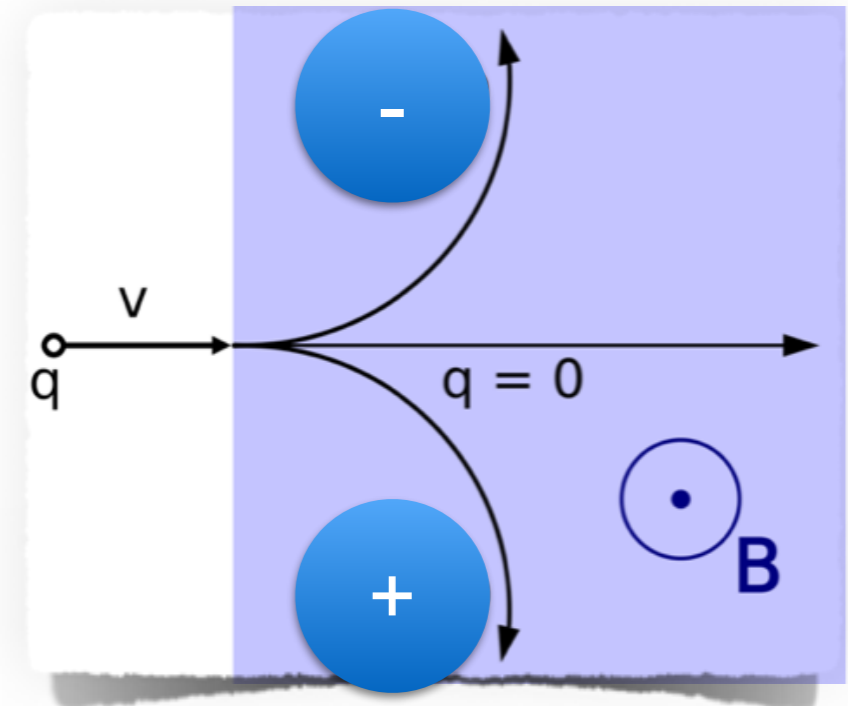
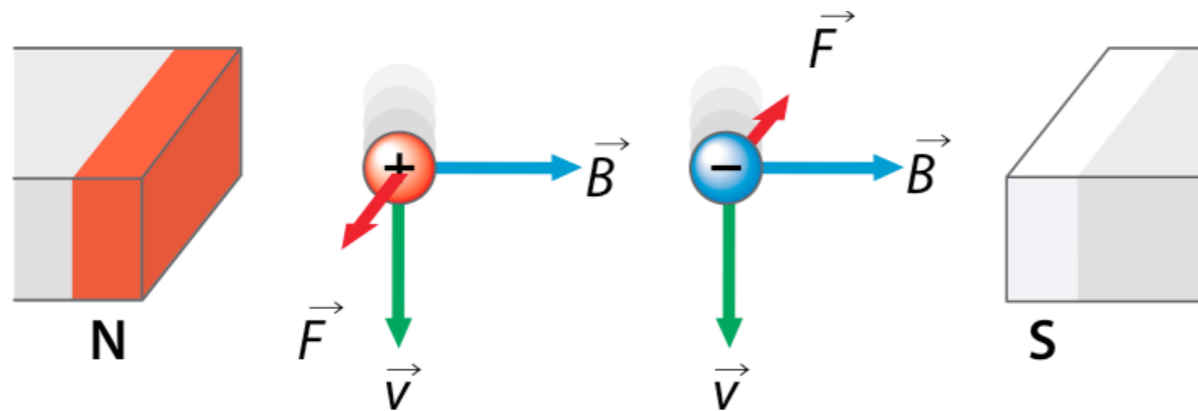




CURVARE...

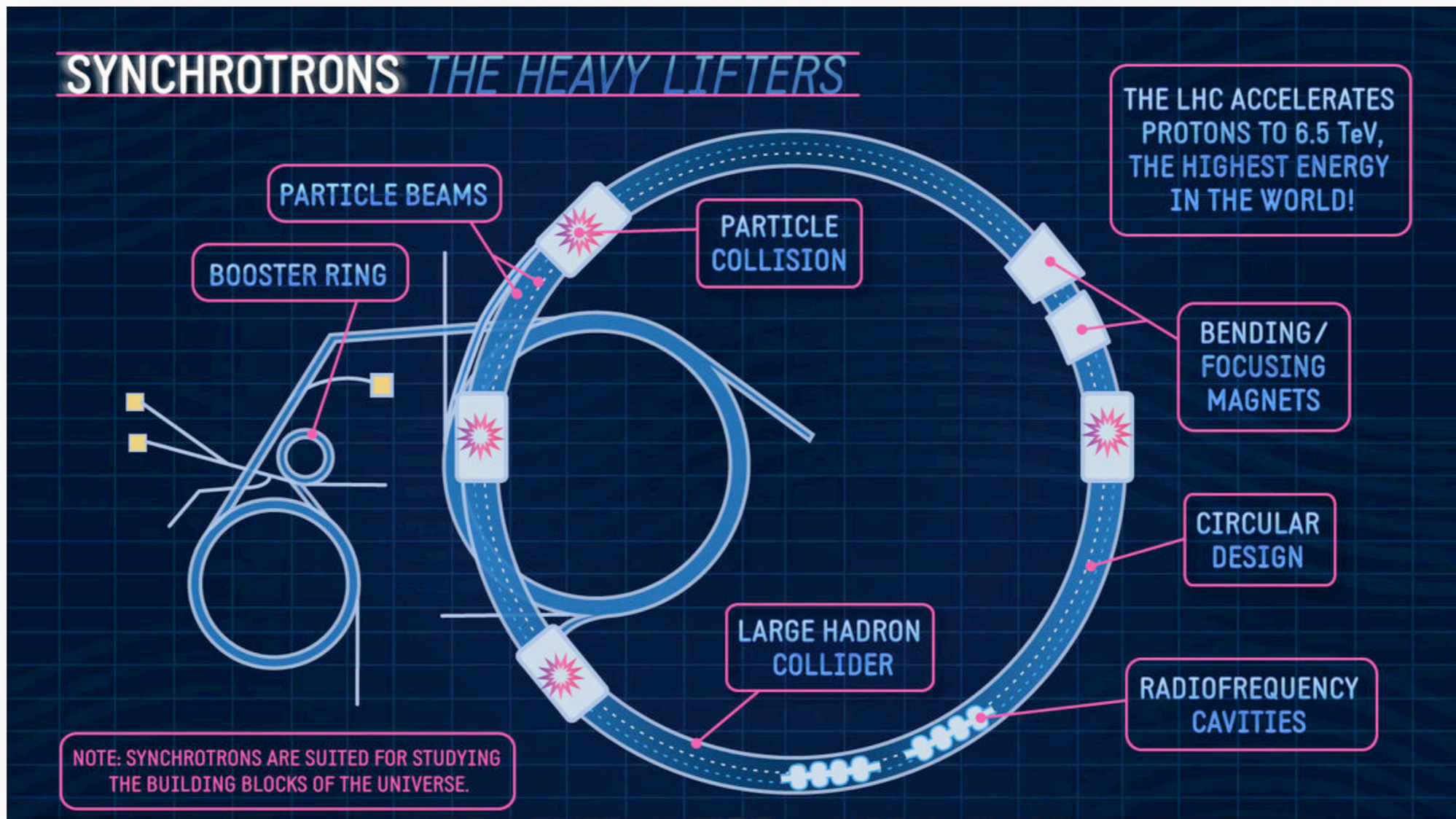
□ per curvare le particelle lungo traiettorie si utilizzano **CAMPI MAGNETICI**

Forza di Lorentz $\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$



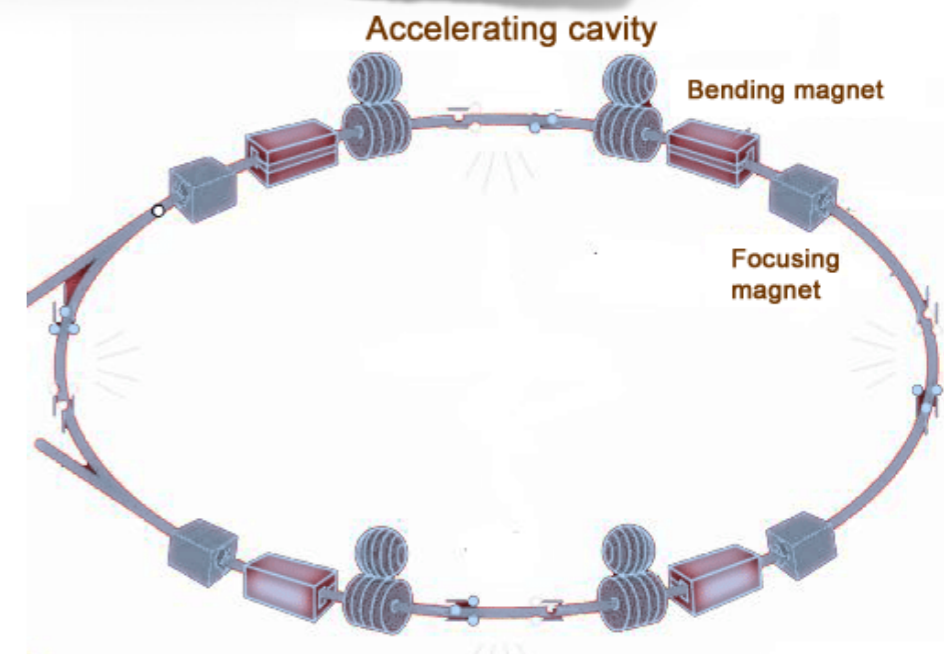


ACCELERATORI CIRCOLARI



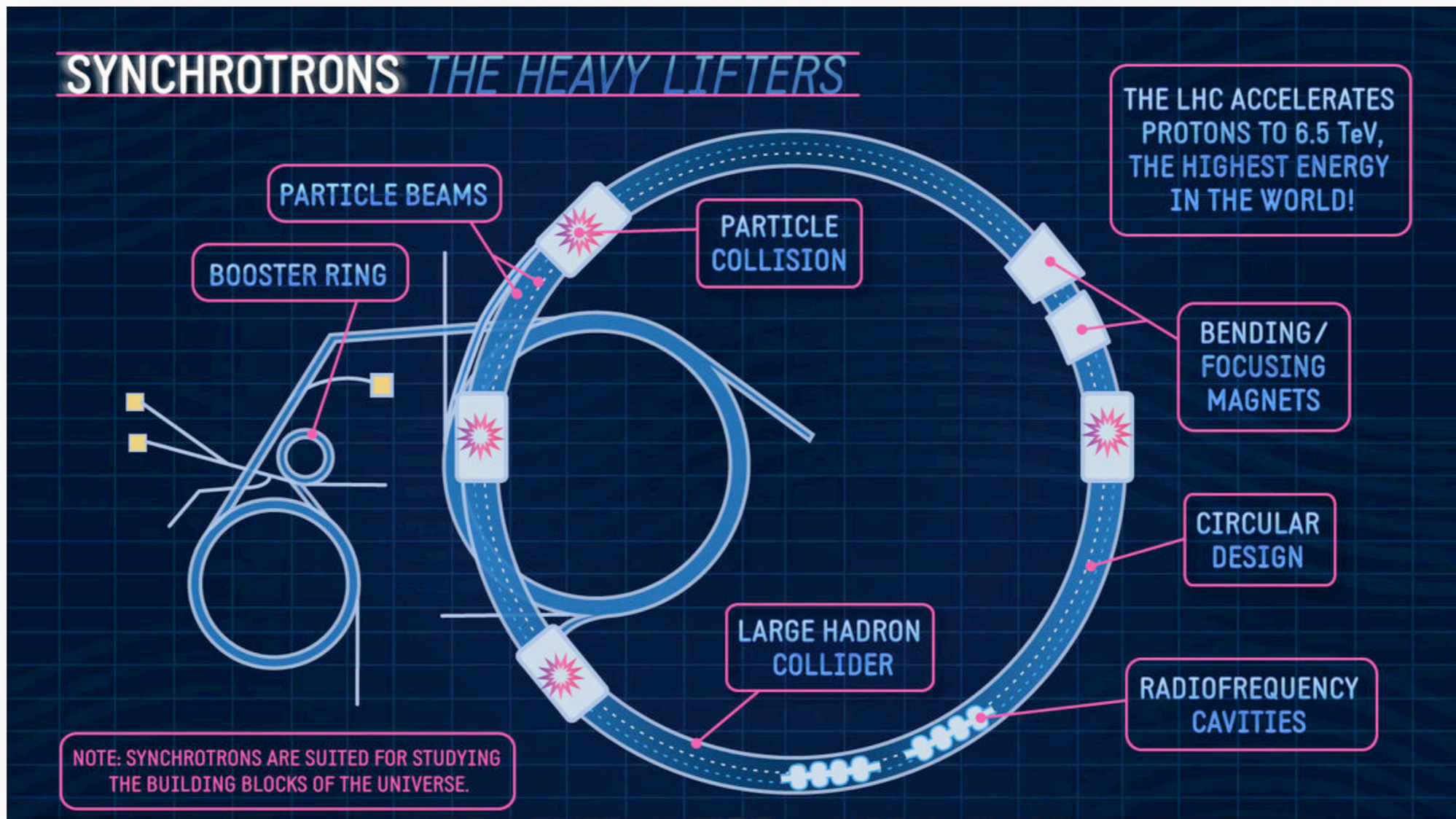
❑ fasci di particelle accelerate in direzione opposta sono fatti urtare tra loro (proiettile e bersaglio)

❑ energia nel centro di massa $E = E_{\text{beam1}} + E_{\text{beam2}}$



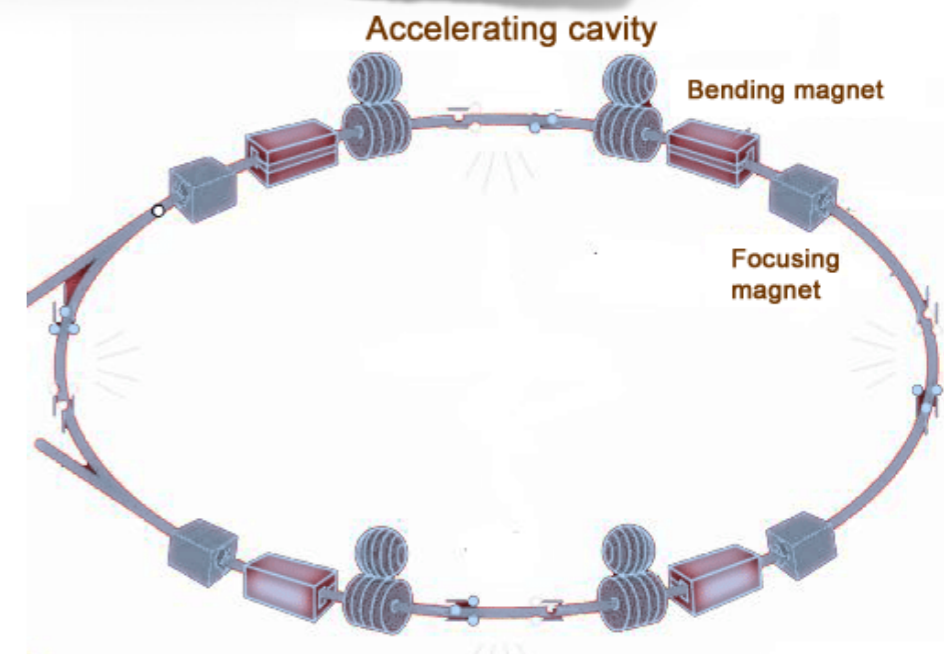


ACCELERATORI CIRCOLARI



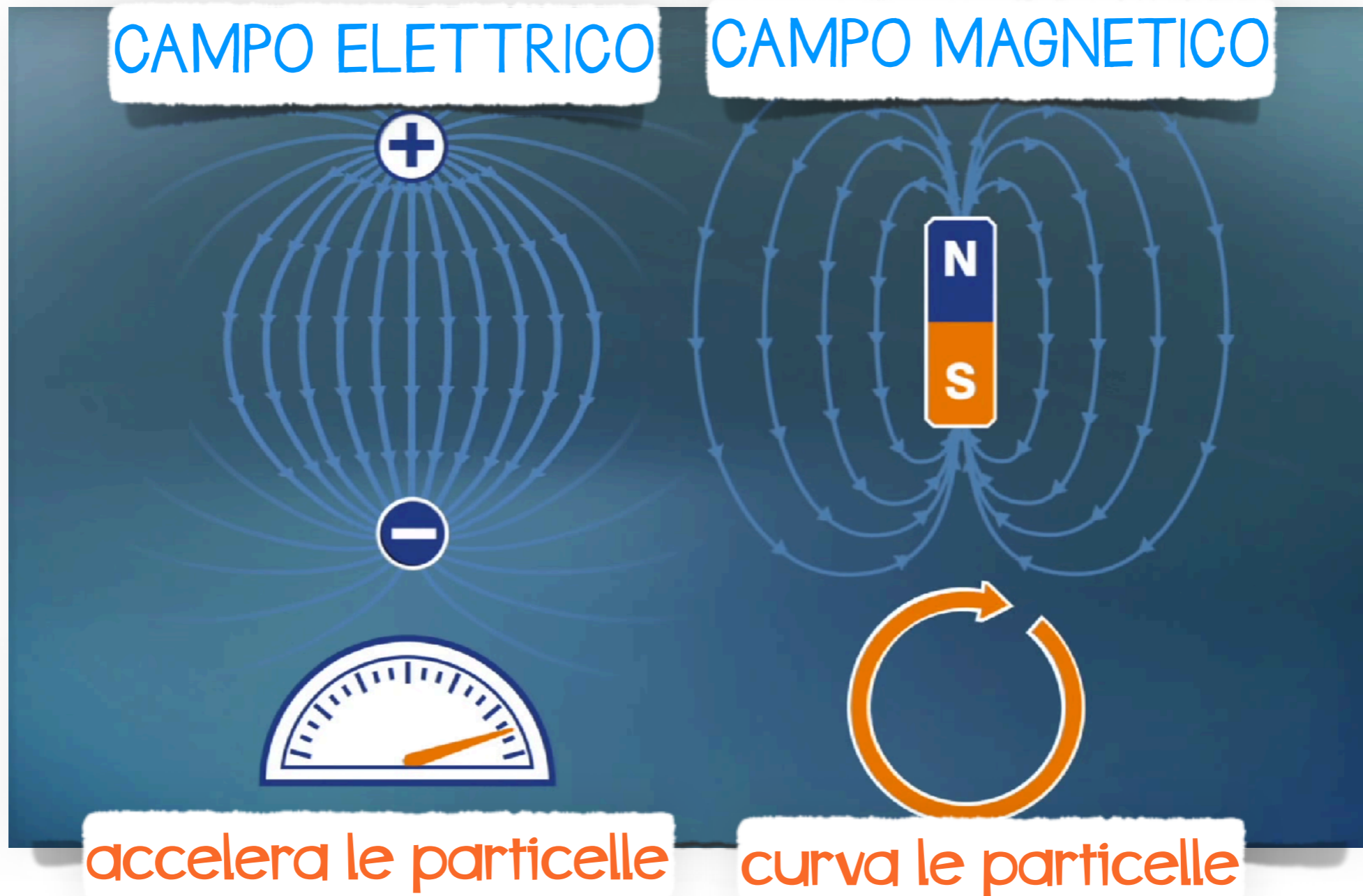
❑ fasci di particelle accelerate in direzione opposta sono fatti urtare tra loro (proiettile e bersaglio)

❑ energia nel centro di massa $E = E_{\text{beam1}} + E_{\text{beam2}}$





RIASSUMENDO...



- il tubo all'interno del quale sono accelerate le particelle deve essere **VUOTO** per minimizzare le interazioni tra il fascio ed eventuali molecole di gas residuo



EVOLUZIONE



Il primo acceleratore di particelle

1930



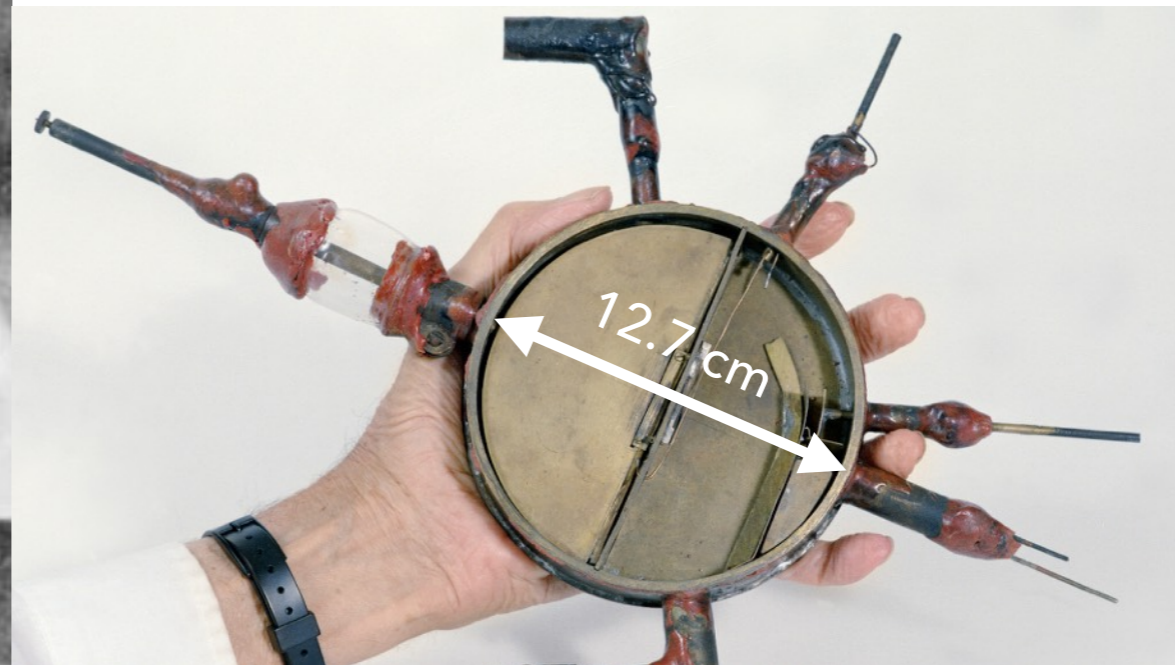
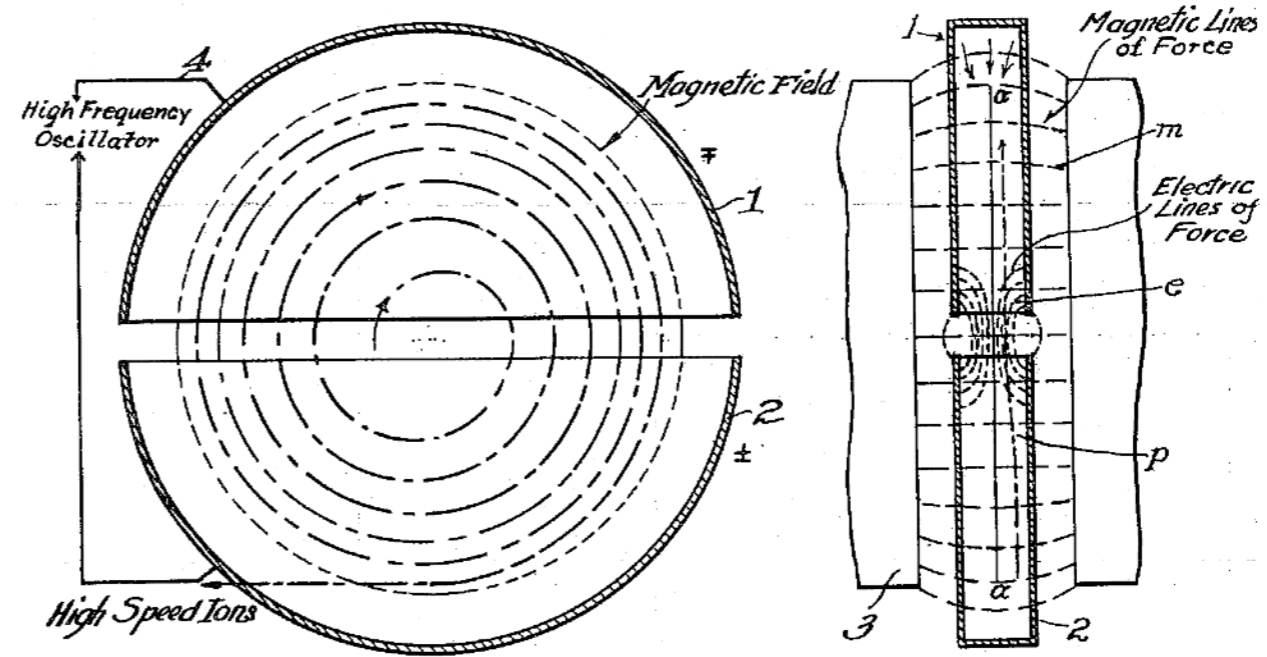


EVOLUZIONE



Il primo acceleratore di particelle

1930



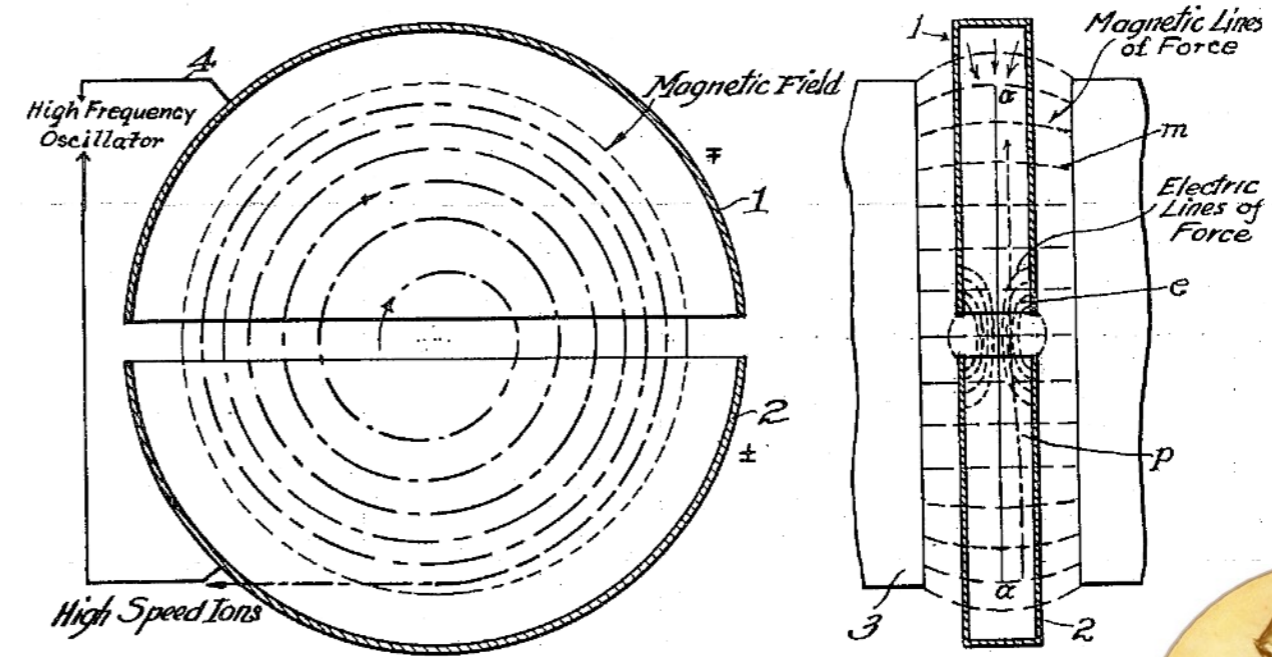


EVOLUZIONE

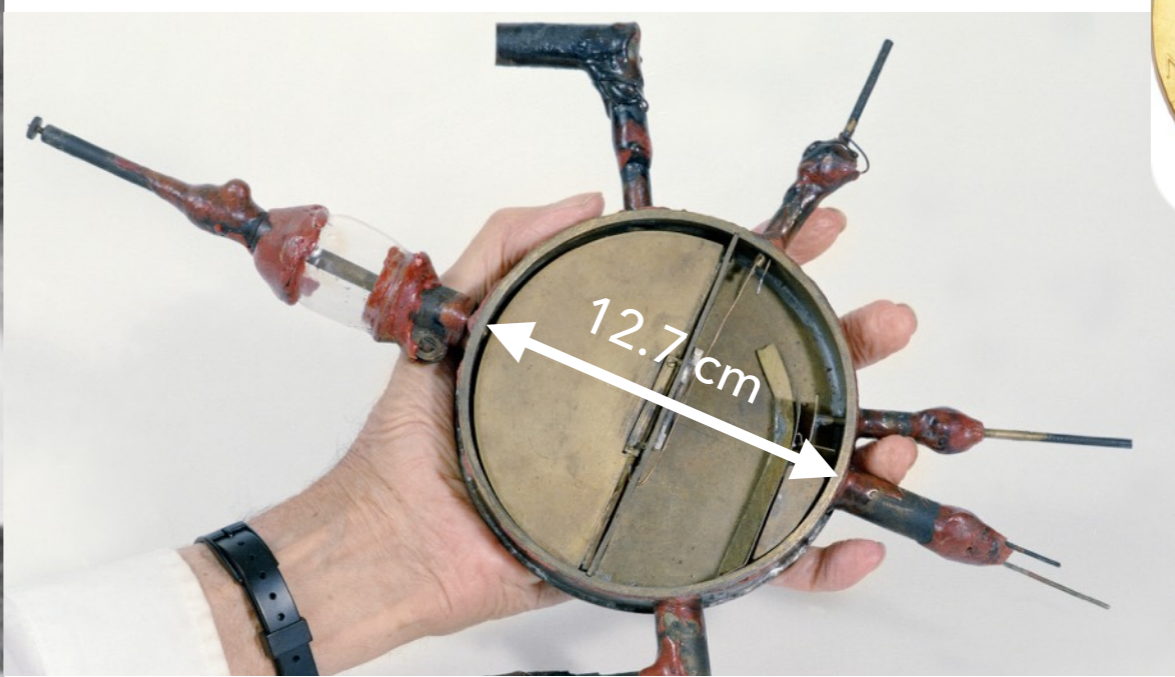


Il primo acceleratore di particelle

1930



1939



The Large Hadron Collider (LHC)



SUISSE
FRANCE

CMS

8 km

LHC 27 km

LHCb

CERN Prévessin

ATLAS

SPS 7 km

CERN Meyrin

PS 620 m

ALICE



LHC



- **LARGE** ▶ grande circonferenza (27 km), l'energia è proporzionale al campo magnetico e al raggio di curvatura
- **HADRON** ▶ accelera protoni e ioni (nuclei) ovvero ADRONI
- **COLLIDER** ▶ accelera 2 fasci in direzioni opposte facendoli collidere nei PUNTI D'INTERAZIONE dove sono collocati gli esperimenti



- **LARGE** ▶ grande circonferenza (27 km), l'energia è proporzionale al campo magnetico e al raggio di curvatura
- **HADRON** ▶ accelera protoni e ioni (nuclei) ovvero ADRONI
- **COLLIDER** ▶ accelera 2 fasci in direzioni opposte facendoli collidere nei PUNTI D'INTERAZIONE dove sono collocati gli esperimenti

□ servono **MAGNETI** con campi elevati per curvare particelle di alta energia



- ▶ LHC ha 9600 magneti che ottimizzano la traiettoria delle particelle
- ▶ 1232 sono **DIPOLI SUPERCONDUTTORI**: conducono corrente con resistività nulla a basse temperature
- ▶ **campo magnetico 8.3 T a 1.9 K = -271.3 °C (diminuirebbe 6.8 T a 4.5 K = -268.7 °C)**
campo magnetico terrestre: 20-70 mT
campo magnetico risonanza: 0.7-3 T



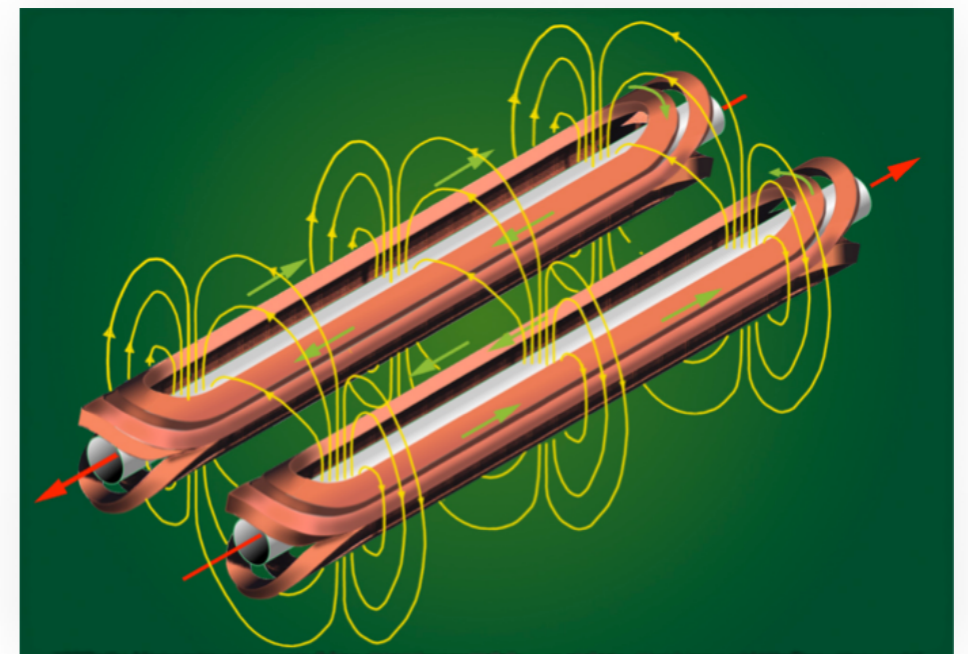
- **LARGE** ▶ grande circonferenza (27 km), l'energia è proporzionale al campo magnetico e al raggio di curvatura
- **HADRON** ▶ accelera protoni e ioni (nuclei) ovvero ADRONI
- **COLLIDER** ▶ accelera 2 fasci in direzioni opposte facendoli collidere nei PUNTI D'INTERAZIONE dove sono collocati gli esperimenti

□ servono **MAGNETI** con campi elevati per curvare particelle di alta energia



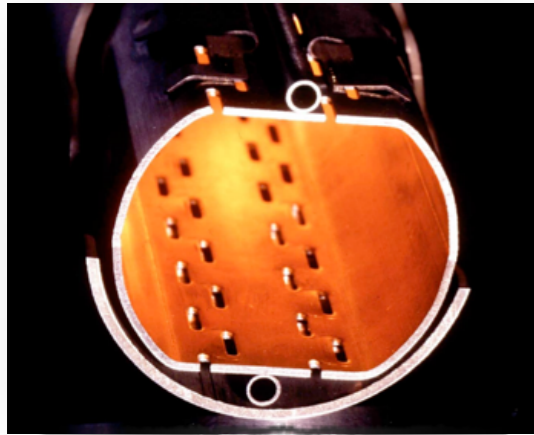
- ▶ LHC ha 9600 magneti che ottimizzano la traiettoria delle particelle
- ▶ 1232 sono **DIPOLI SUPERCONDUTTORI**: conducono corrente con resistività nulla a basse temperature
- ▶ **campo magnetico 8.3 T a 1.9 K = -271.3 °C** (diminuirebbe 6.8 T a 4.5 K = -268.7 °C)
- campo magnetico terrestre: 20-70 mT
- campo magnetico risonanza: 0.7-3 T

Per far circolare i due fasci in direzione opposta è necessario avere due campi magnetici distinti





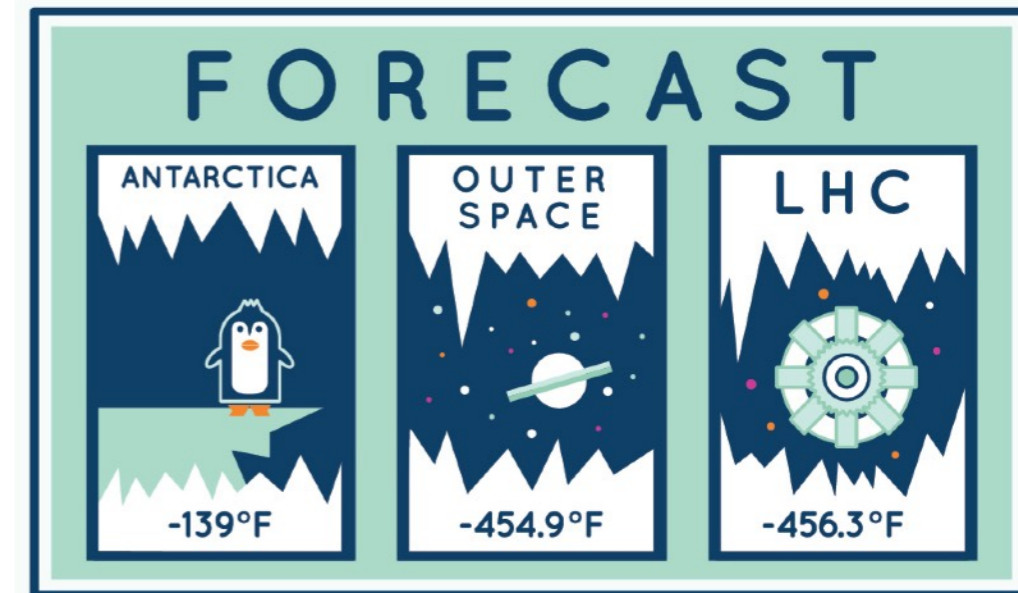
LHC



- ❑ **VUOTO** ultra-spinto a LHC perchè le particelle non interagiscano con molecole di gas residuo
 - ▶ 10^{-13} atm = 10^{-10} mbar
- pressione atmosferica: 1 atm = 1013,25 mbar



- ❑ LHC è vuoto come il mezzo interstellare (10^{-13} atm) ed è il posto più freddo (-271.3°C) del sistema solare!





PULIZIE...



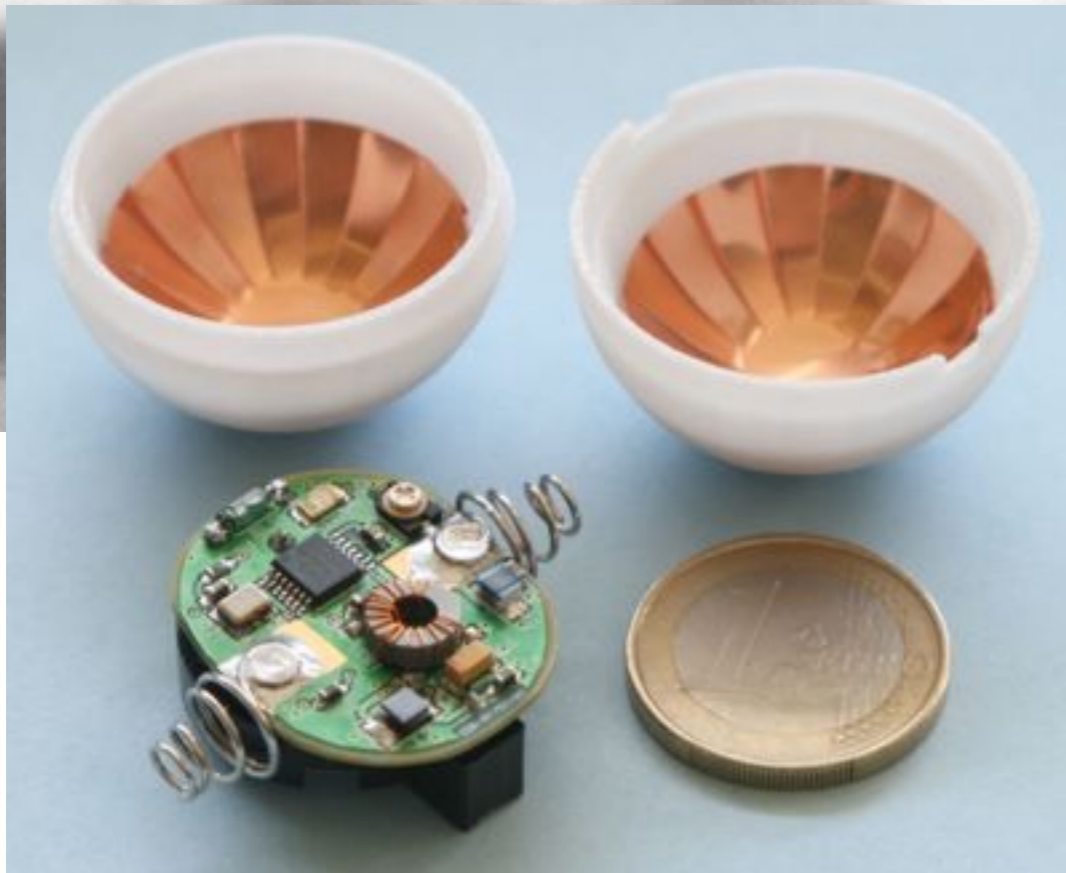
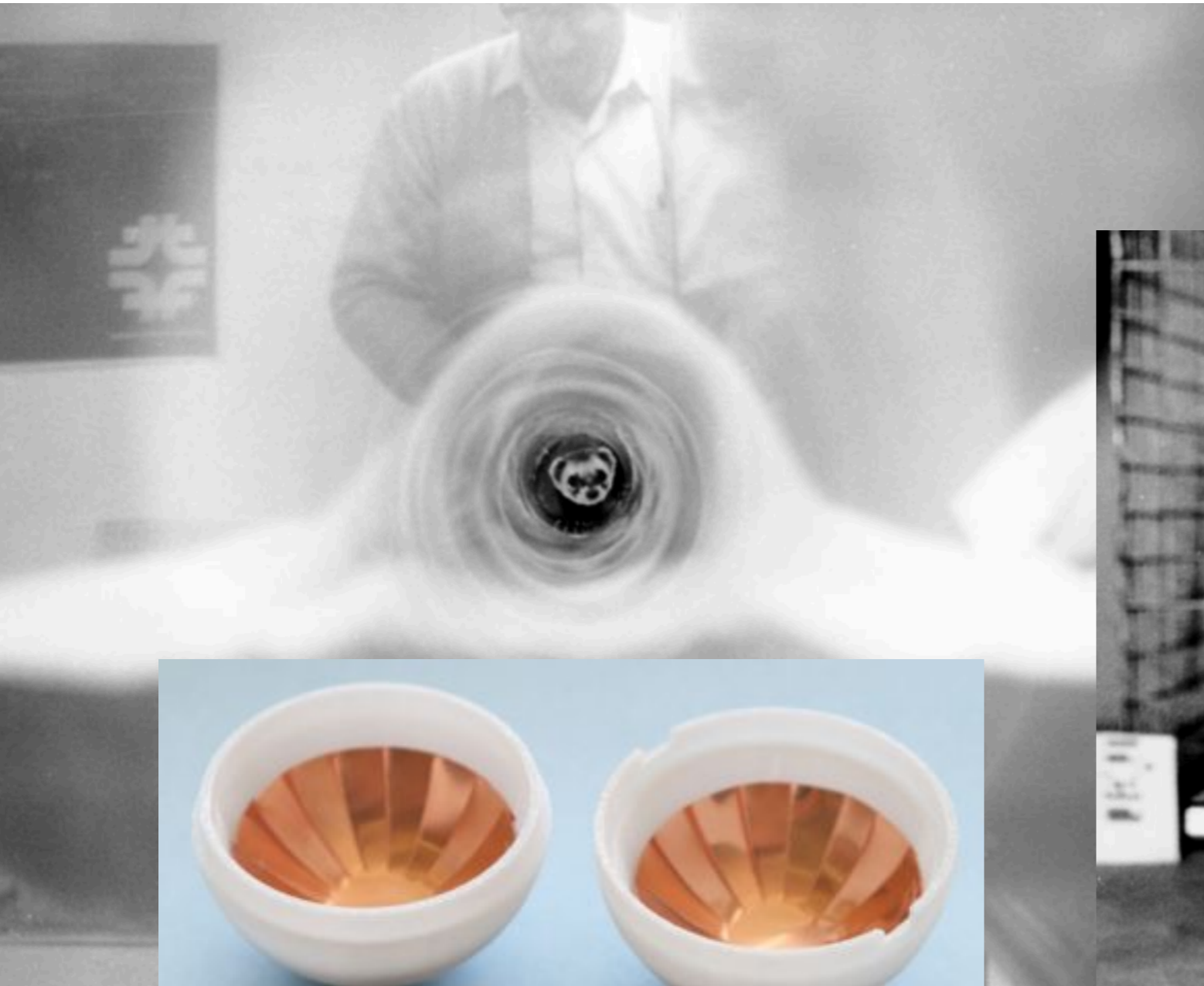


PULIZIE...

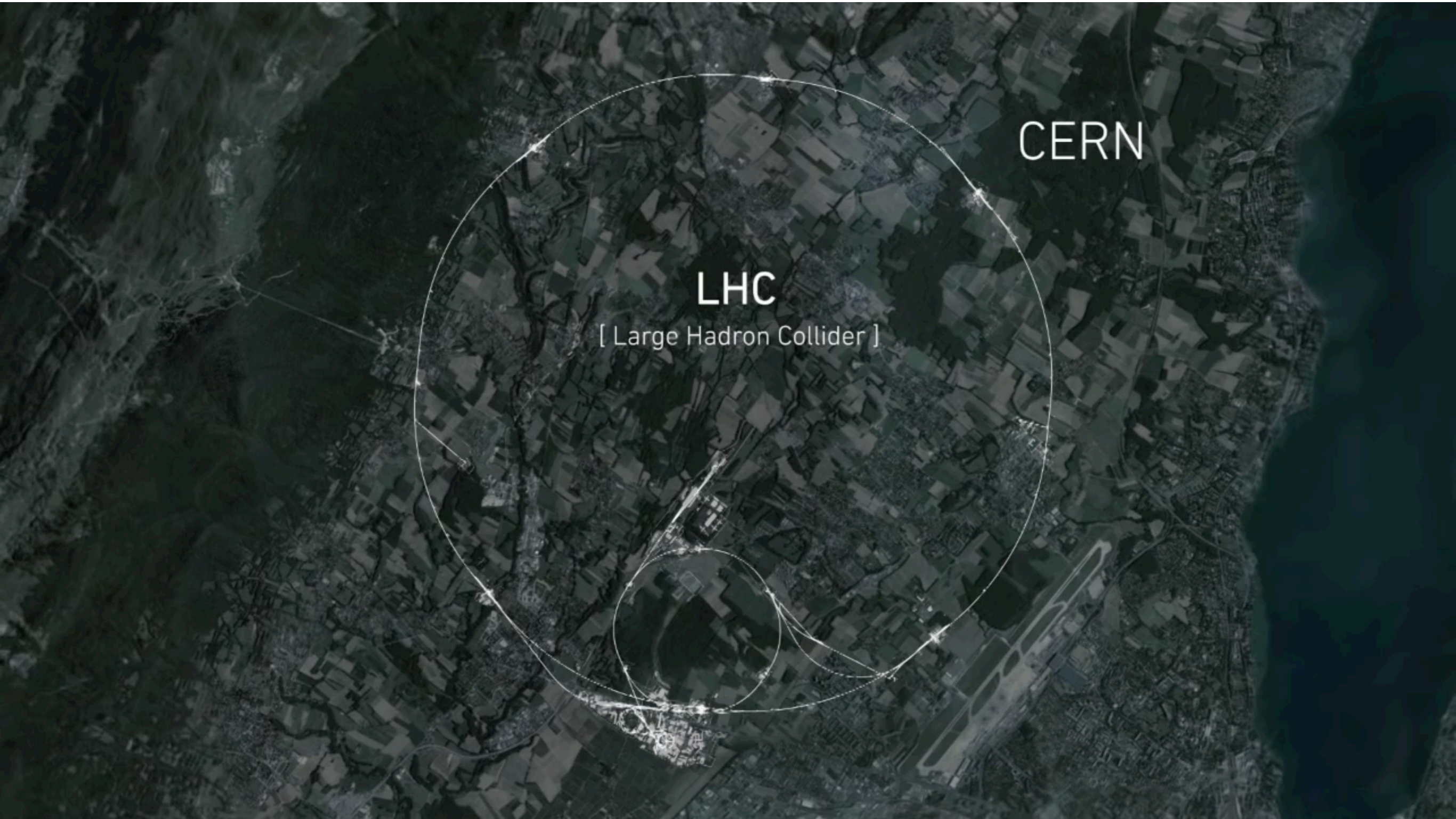




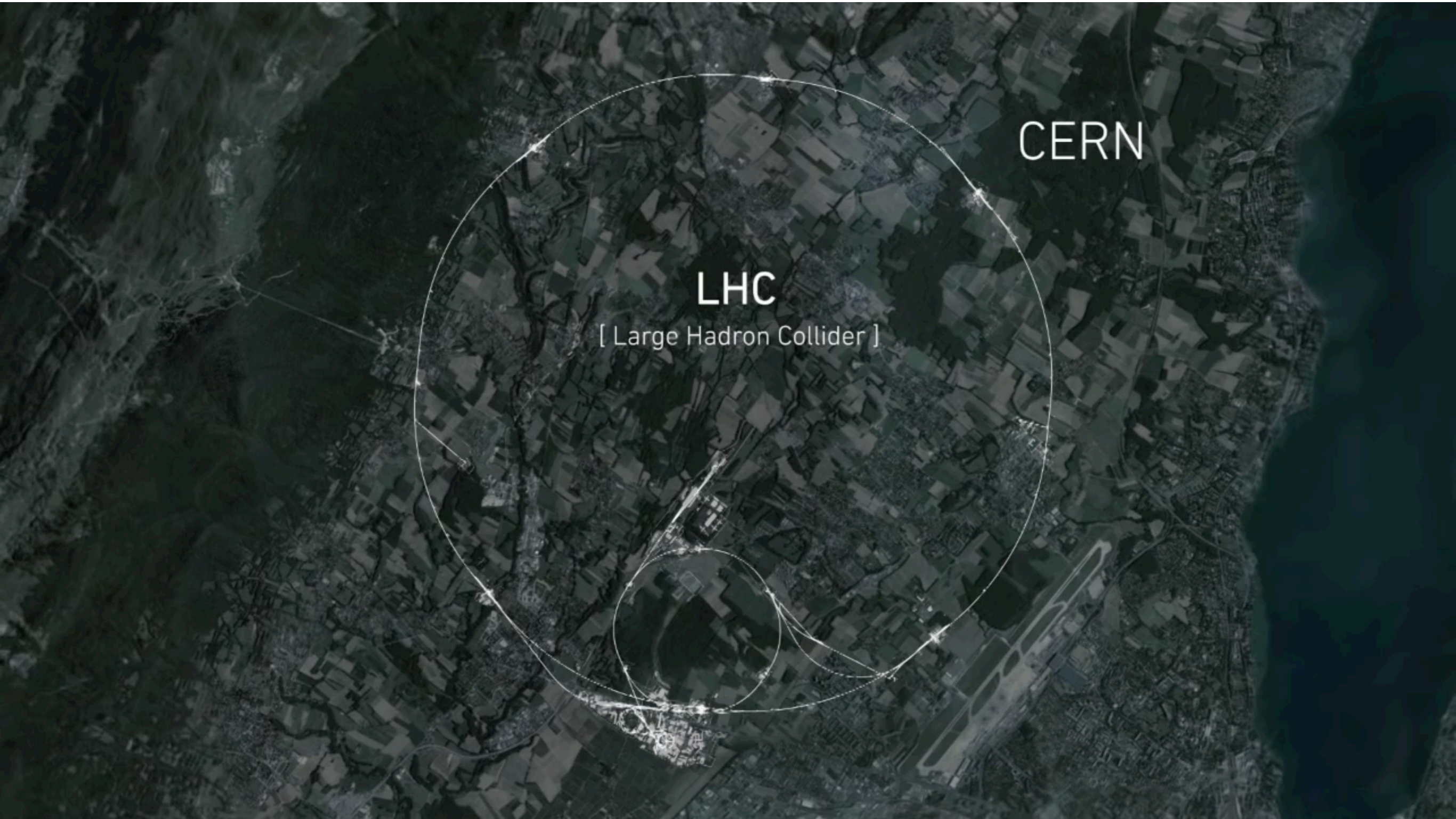
PULIZIE...



Large Hadron Collider (LHC)



Large Hadron Collider (LHC)



RIVELATORI





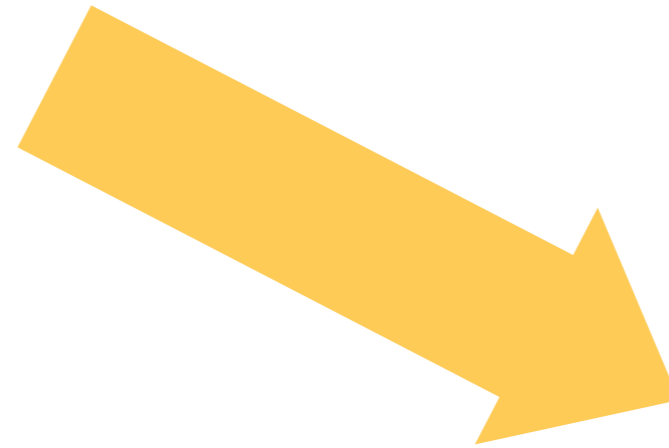
UN RIVELATORE DI FOTONI



SORGENTE



RIVELATORE



BERSAGLIO



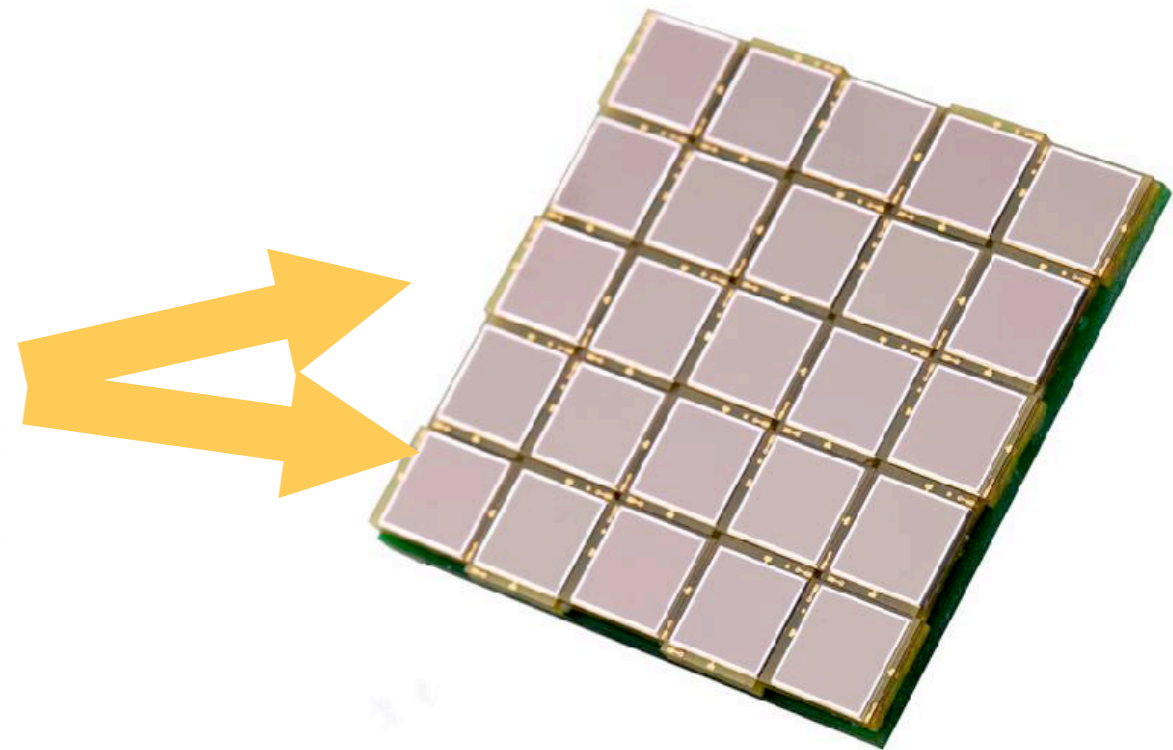
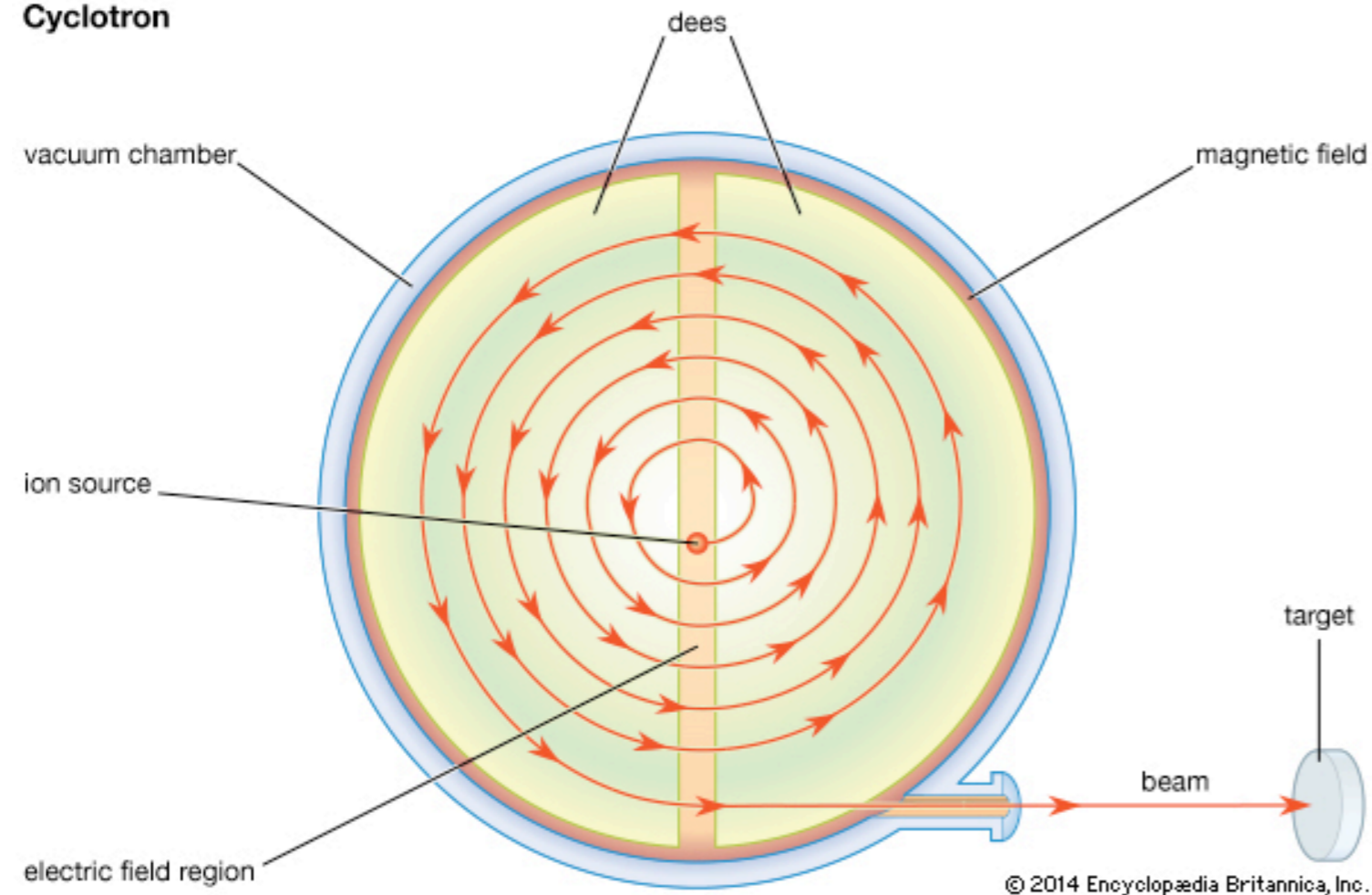
L'occhio rivela i FOTONI che sono le particelle elementari che compongono il fascio di luce riflesso dal bersaglio
▶ vediamo il bersaglio colpito dai fotoni incidenti



RIVELATORI



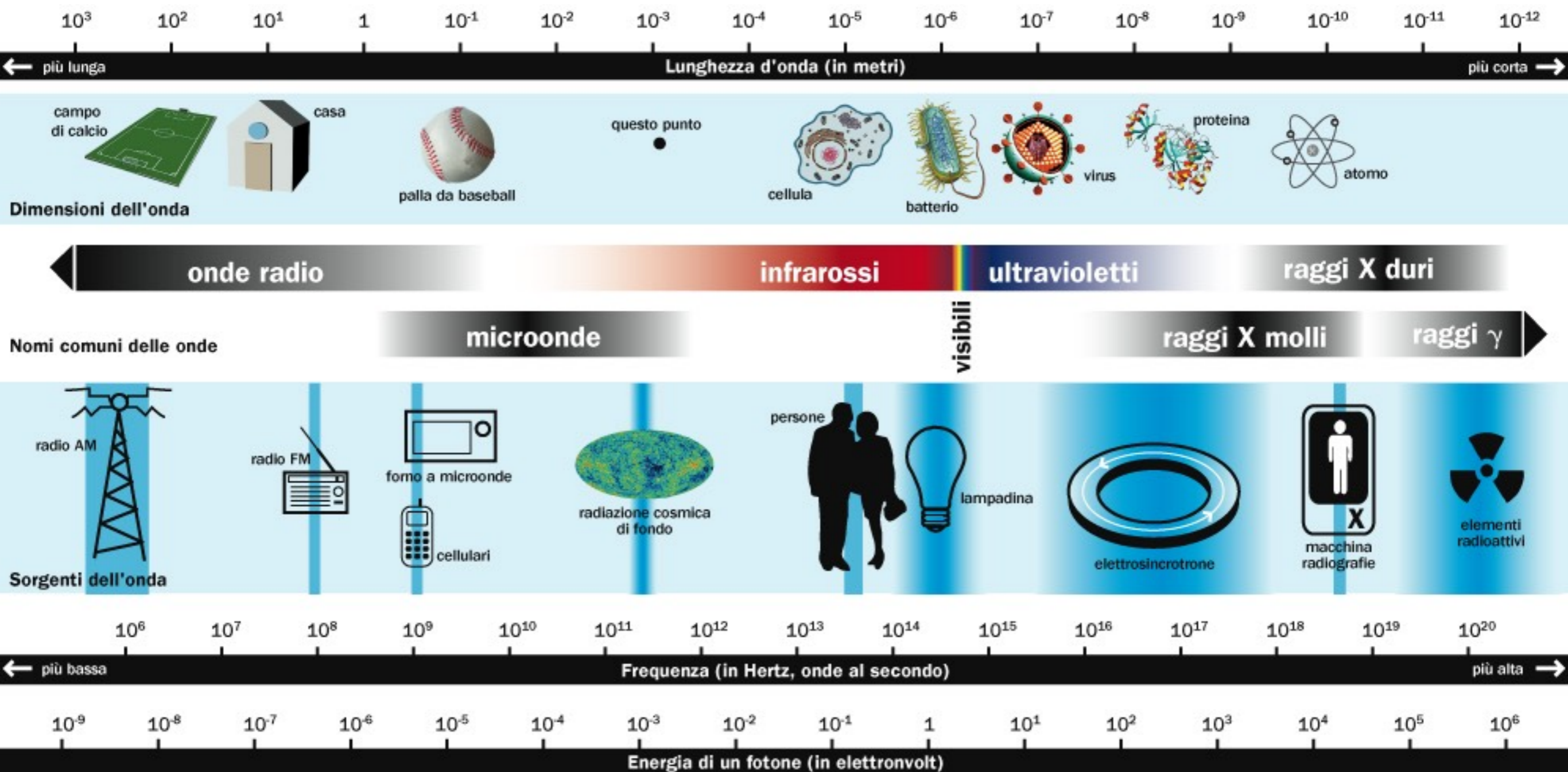
Cyclotron



Il rivelatore di particelle "vede" le particelle prodotte nell'urto del fascio contro il bersaglio
▶ questo ci permette di indagare la materia



QUESTIONE DI LUNGHEZZE D'ONDA



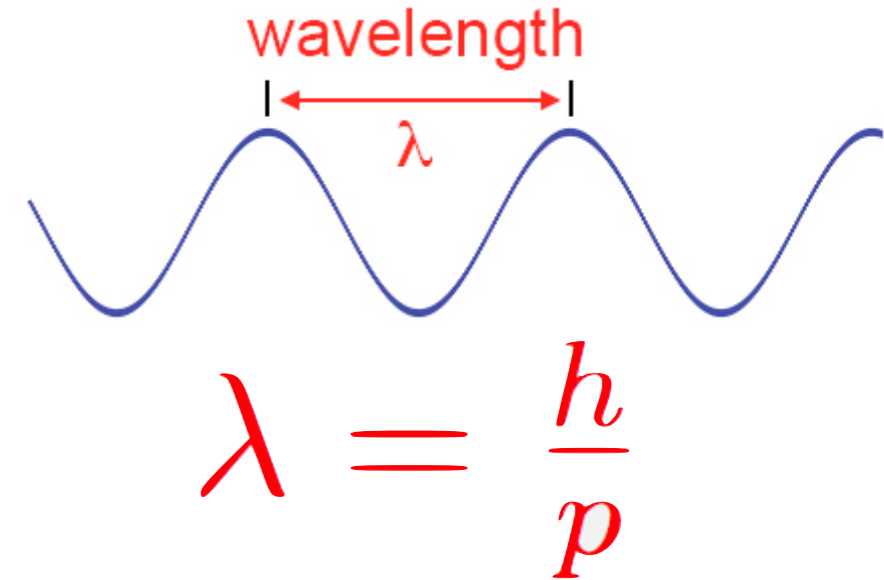
La sorgente e lo strumento di rivelazione da utilizzare dipendono dalla scala del sistema da investigare



LA GIUSTA SONDA

Maggiore l'energia della particella accelerata, minore la sua lunghezza d'onda

L'energia della particella con cui sondiamo la materia deve essere tale per cui la lunghezza d'onda sia dello stesso ordine di grandezza del sistema che vogliamo studiare

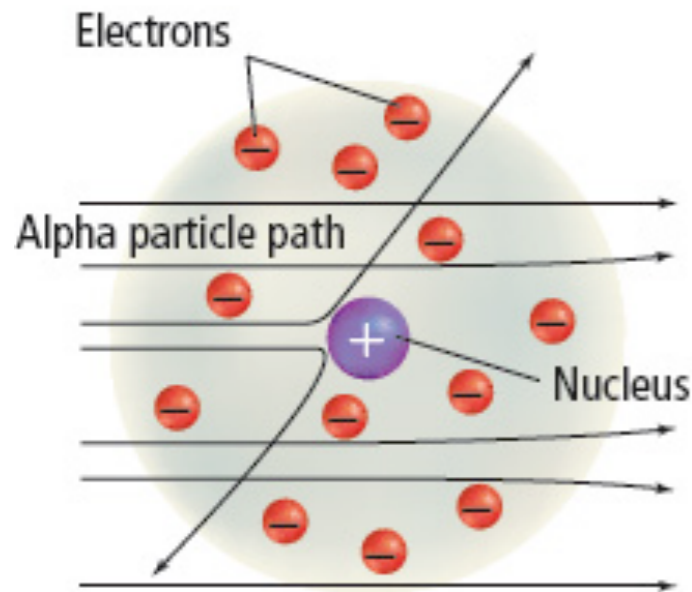
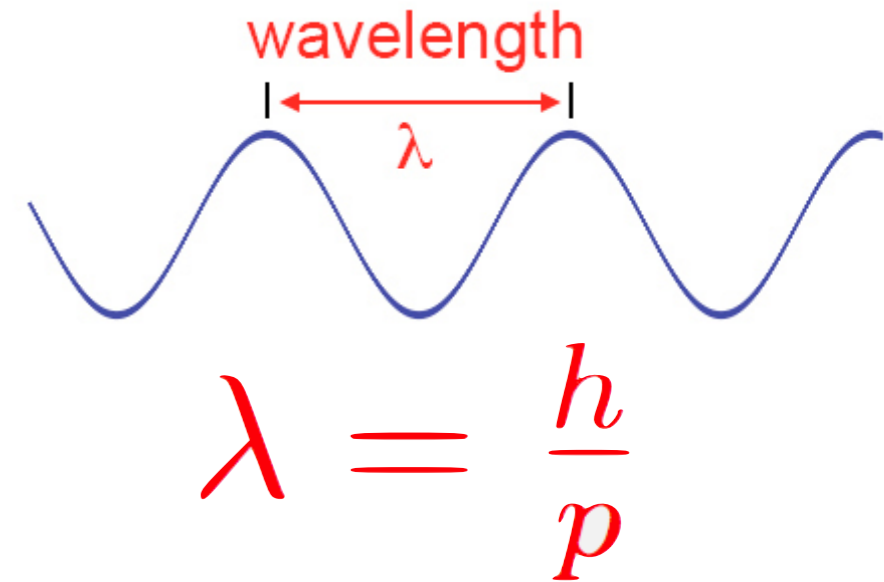




LA GIUSTA SONDA

Maggiore l'energia della particella accelerata, minore la sua lunghezza d'onda

L'energia della particella con cui sondiamo la materia deve essere tale per cui la lunghezza d'onda sia dello stesso ordine di grandezza del sistema che vogliamo studiare



Rutherford bombardando con particelle α una lamina d'oro scoprì la struttura interna dell'atomo, risolvendo il nucleo atomico $\sim 10^{-14}$ m

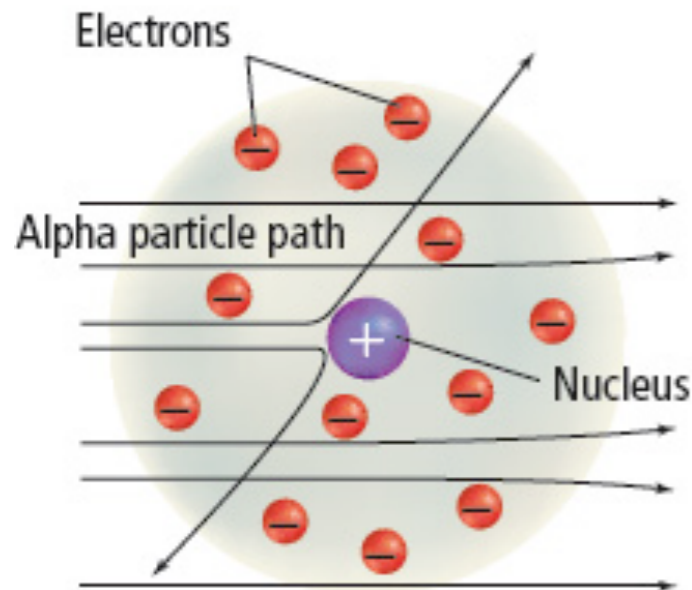
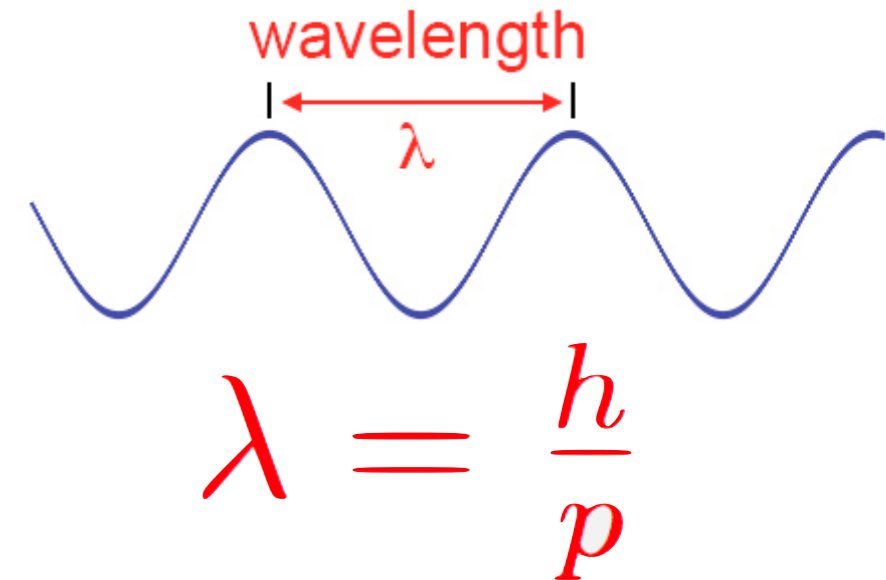
$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{6.63 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1.5 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \sim 10^{-14} \text{ m}$$



LA GIUSTA SONDA

Maggiore l'energia della particella accelerata, minore la sua lunghezza d'onda

L'energia della particella con cui sondiamo la materia deve essere tale per cui la lunghezza d'onda sia dello stesso ordine di grandezza del sistema che vogliamo studiare



Rutherford bombardando con particelle α una lamina d'oro scoprì la struttura interna dell'atomo, risolvendo il nucleo atomico $\sim 10^{-14}$ m

$$\lambda = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}}{6.63 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1.5 \cdot 10^7 \text{ m/s}} \sim 10^{-14} \text{ m}$$

Fasci di protoni alla massima energia raggiunta a LHC 6500 GeV:

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot \hbar c}{pc} = \frac{2\pi \cdot 197 \text{ MeV fm}}{6.5 \cdot 10^3 \text{ GeV}} \sim 2 \cdot 10^{-4} \text{ m} \sim 10^{-19} \text{ m}$$



INTERAZIONE...

Tutte le particelle **CARICHE & STABILI** (che non decadono prima di aver attraversato il rivelatore) che **INTERAGISCONO** con la materia (rivelatore)

$$\tau = \frac{L}{c} \sim \frac{1\text{m}}{3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}} \sim 10^{-9} \text{s} = 1\text{ns}$$



INTERAZIONE...

Tutte le particelle **CARICHE & STABILI** (che non decadono prima di aver attraversato il rivelatore) che **INTERAGISCONO** con la materia (rivelatore)

$$\tau = \frac{L}{c} \sim \frac{1\text{m}}{3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}} \sim 10^{-9} \text{s} = 1\text{ns}$$

Ciascuna particella ha un modo caratteristico di interagire con la materia:



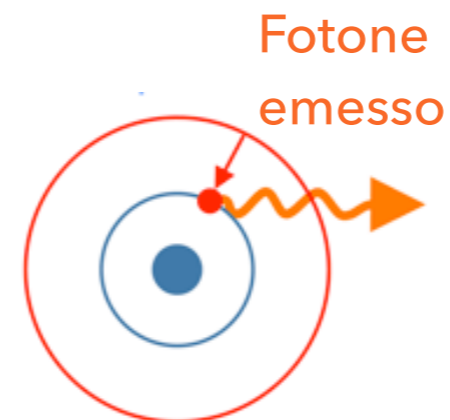
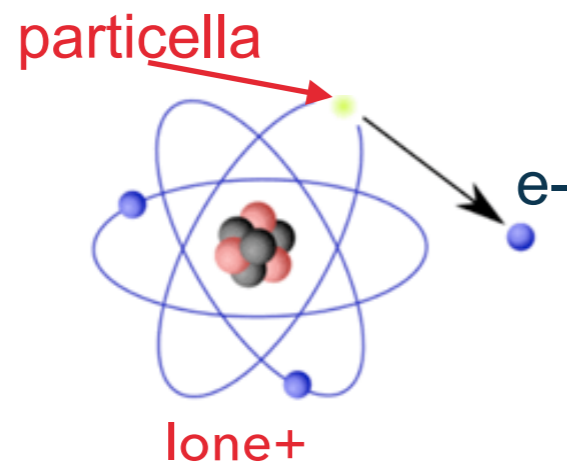
INTERAZIONE...

Tutte le particelle **CARICHE & STABILI** (che non decadono prima di aver attraversato il rivelatore) che **INTERAGISCONO** con la materia (rivelatore)

$$\tau = \frac{L}{c} \sim \frac{1\text{m}}{3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}} \sim 10^{-9} \text{s} = 1\text{ns}$$

Ciascuna particella ha un modo caratteristico di interagire con la materia:

* interazione **ELETTROMAGNETICA** con elettroni e nuclei degli atomi





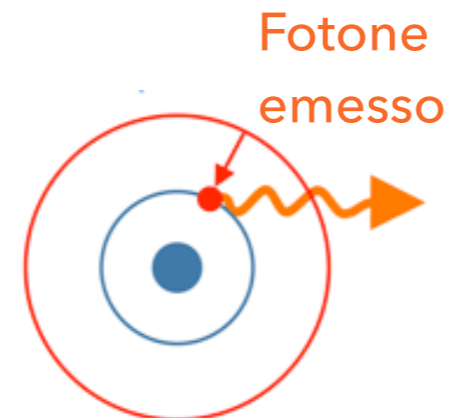
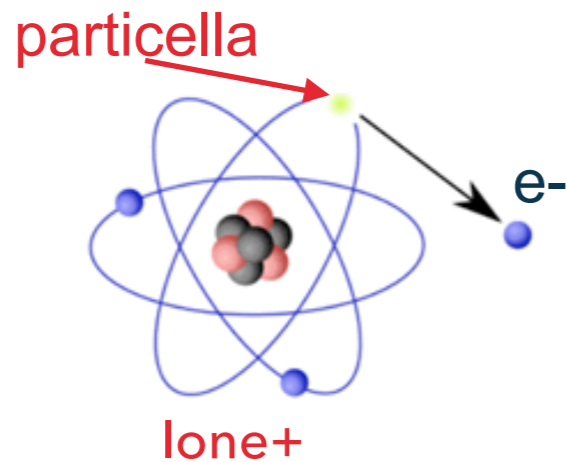
INTERAZIONE...

Tutte le particelle **CARICHE & STABILI** (che non decadono prima di aver attraversato il rivelatore) che **INTERAGISCONO** con la materia (rivelatore)

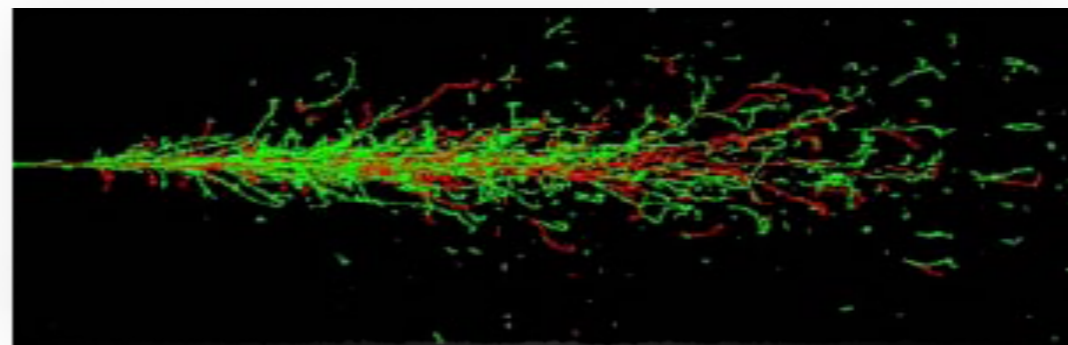
$$\tau = \frac{L}{c} \sim \frac{1\text{m}}{3 \cdot 10^8 \text{ms}^{-1}} \sim 10^{-9} \text{s} = 1\text{ns}$$

Ciascuna particella ha un modo caratteristico di interagire con la materia:

* interazione **ELETTROMAGNETICA** con elettroni e nuclei degli atomi



* interazione **ADRONICA** con i nucleoni dei nuclei





...E RIVELAZIONE

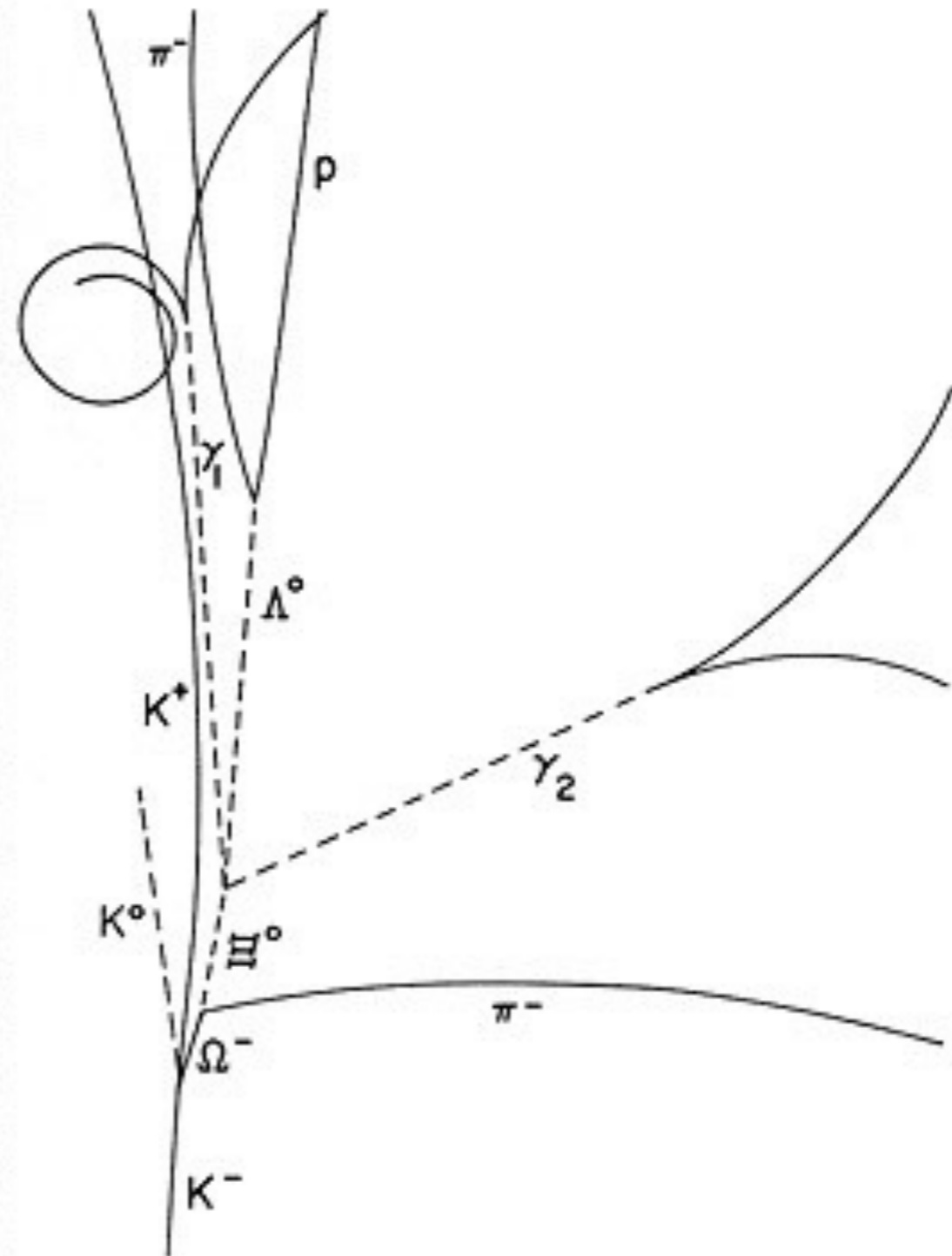
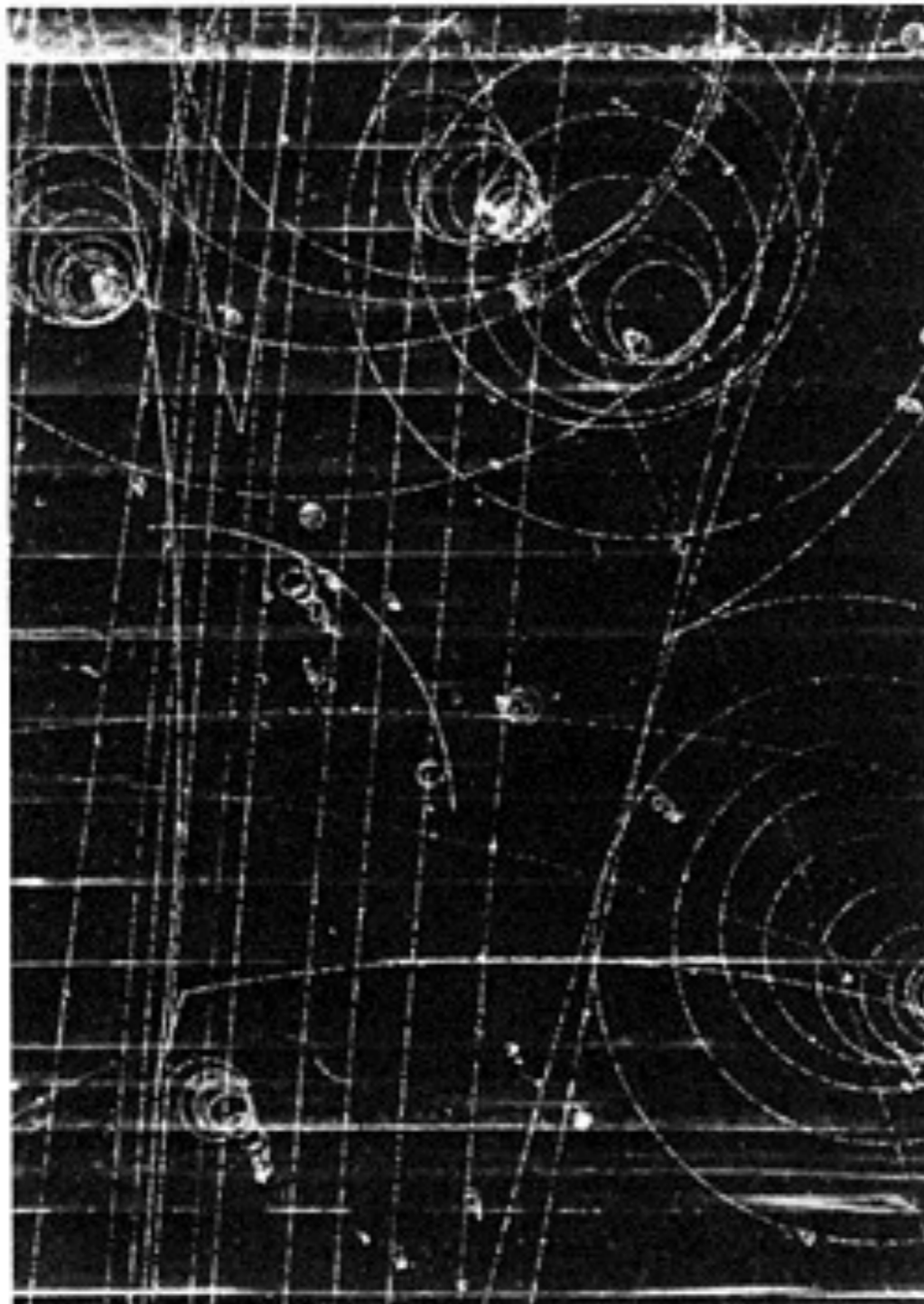
Tutte le particelle **CARICHE & STABILI** (che non decadono prima di aver attraversato il rivelatore) che **INTERAGISCONO** con la materia (rivelatore)

- o fotoni γ ed elettroni e^- \blacktriangleright interazione **ELETTROMAGNETICA**
- o adroni carichi: protoni p , pioni π , kaoni K \blacktriangleright interazione **ADRONICA**
- o muoni μ \blacktriangleright perdono poca energia
- o neutrini ν \blacktriangleright bassissima probabilità di interazione con la materia
- o anti-particelle



PARTICELLE RIVELABILI

Le particelle **INSTABILI** possono essere ricostruite dalle particelle **STABILI** prodotte nel decadimento





QUANTITÀ MISURABILI I

□ CARICA ELETTRICA (q) & QUANTITÀ DI MOTO (p)

▶ campo magnetico

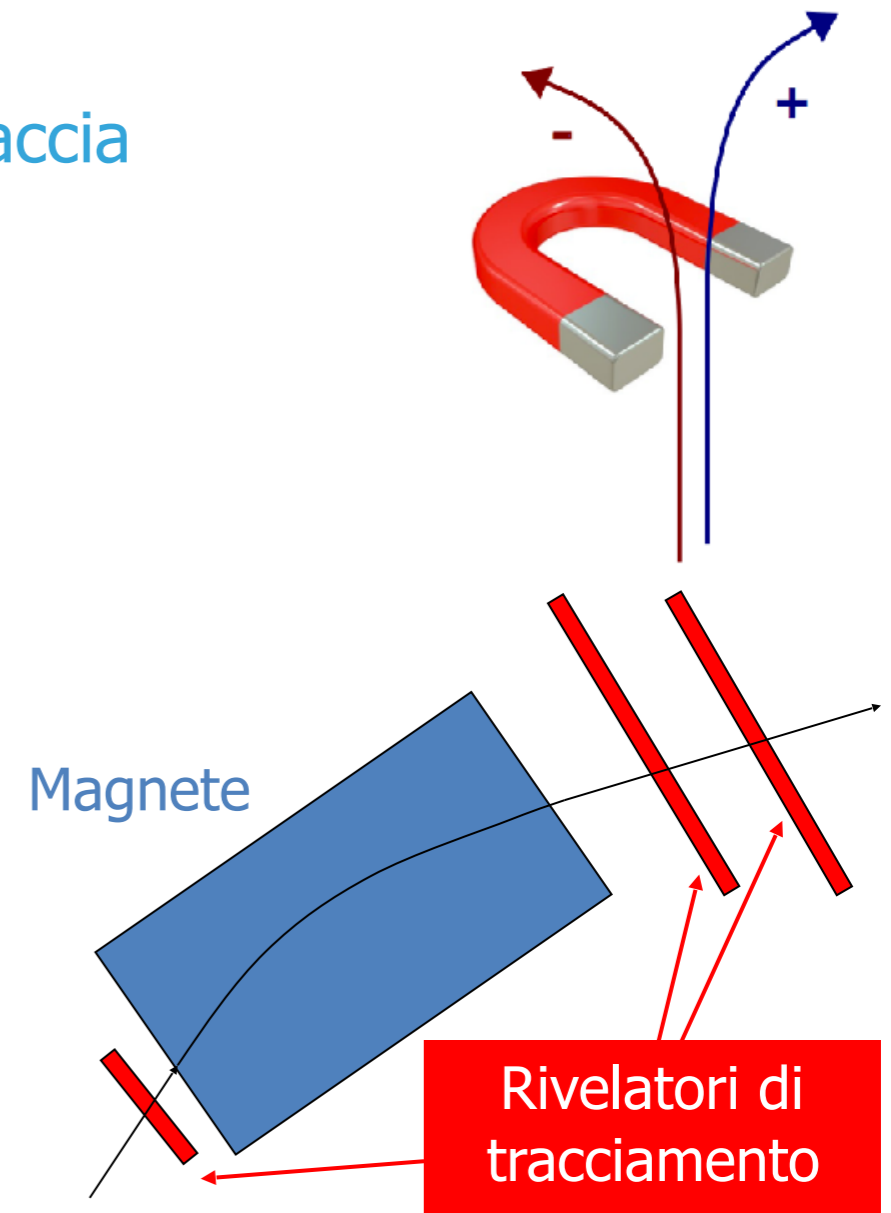
- la CARICA si deduce dalla curvatura della traccia
- il MOMENTO si misura:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

usando $\vec{v} \perp \vec{B} \rightarrow ma = qvB$

$$mv^2/R = qvB$$

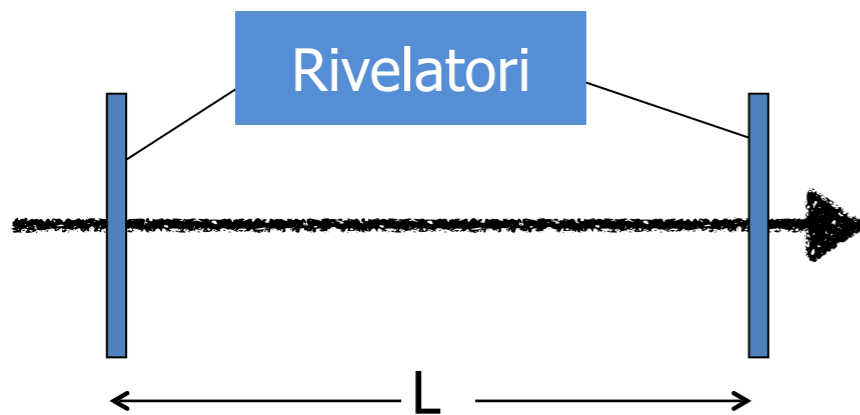
$$p = mv = qBR$$





□ VELOCITÀ

▶ misura del tempo di volo tra 2 rivelatori posti a distanza nota



$$\Delta t = L / v$$

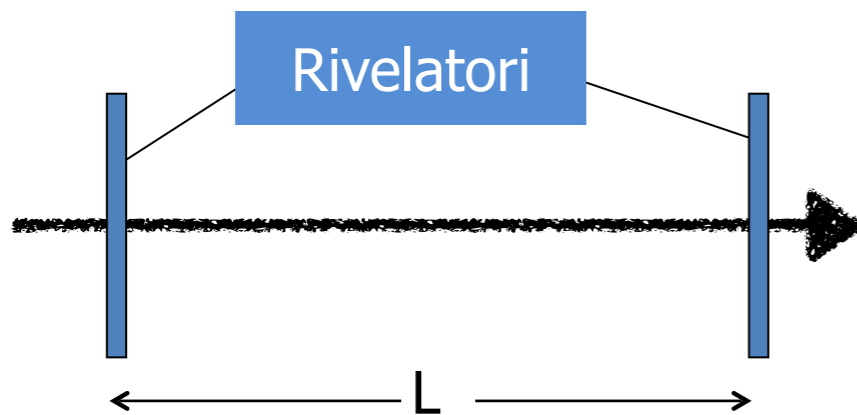


$$v = L / \Delta t$$



□ VELOCITÀ

▶ misura del tempo di volo tra 2 rivelatori posti a distanza nota



$$\Delta t = L / v$$



$$v = L / \Delta t$$

□ MASSA

▶ misurati impulso e velocità si ricava la massa

$$p = \gamma m v$$

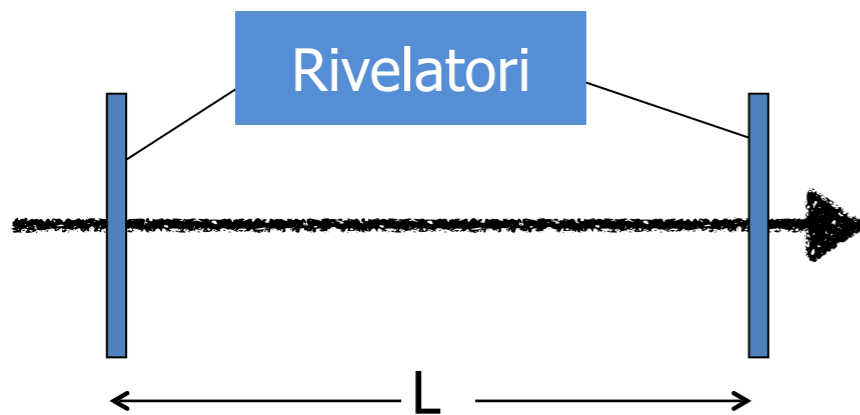


$$m = p / (\gamma v)$$



□ VELOCITÀ

▶ misura del tempo di volo tra 2 rivelatori posti a distanza nota



$$\Delta t = L / v$$



$$v = L / \Delta t$$

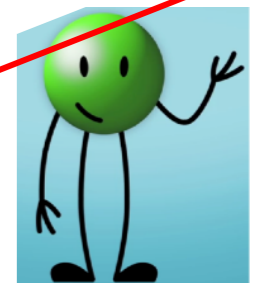
□ MASSA

▶ misurati impulso e velocità si ricava la massa

$$p = \gamma m v$$

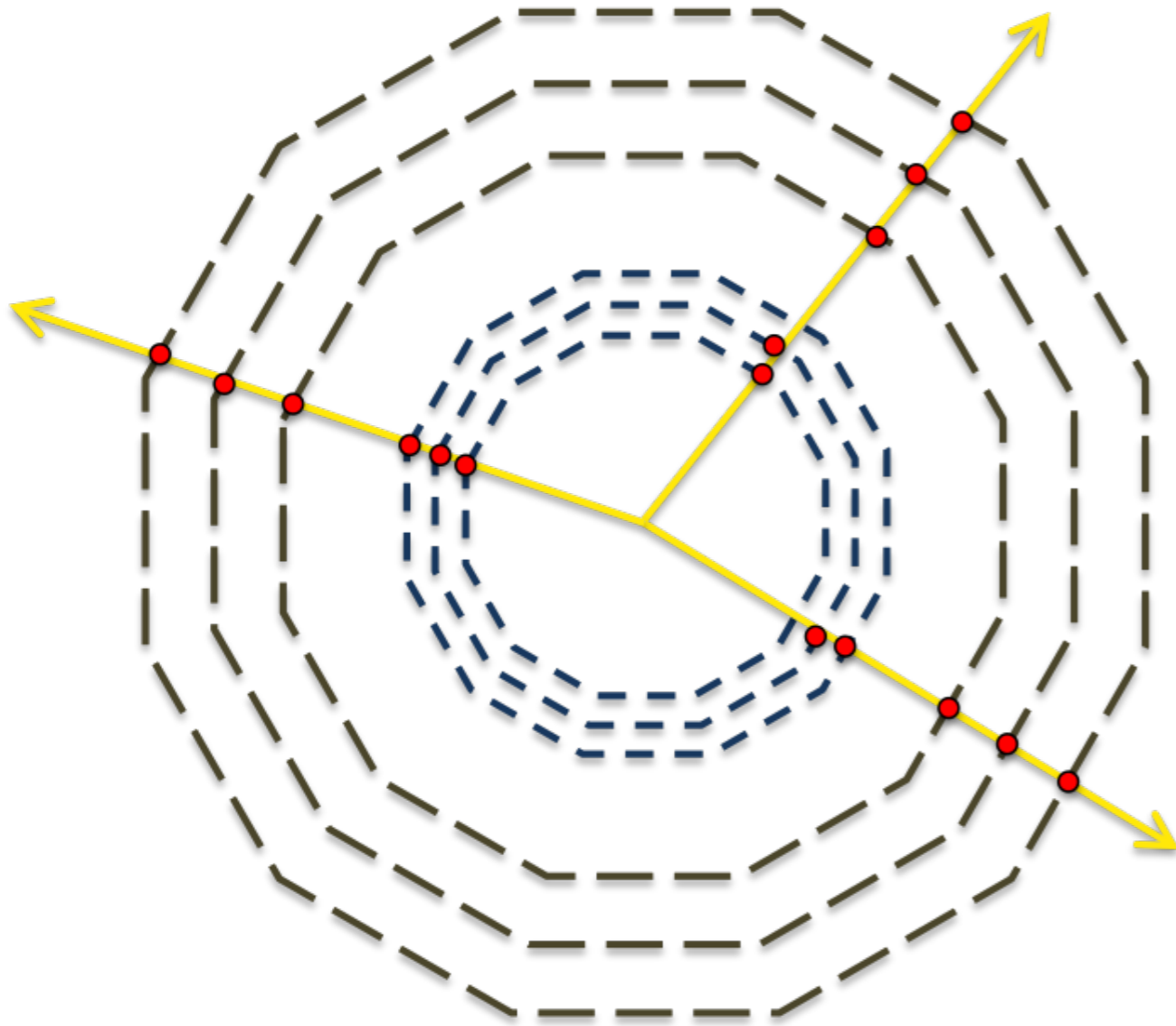


$$m = p / (\gamma v)$$

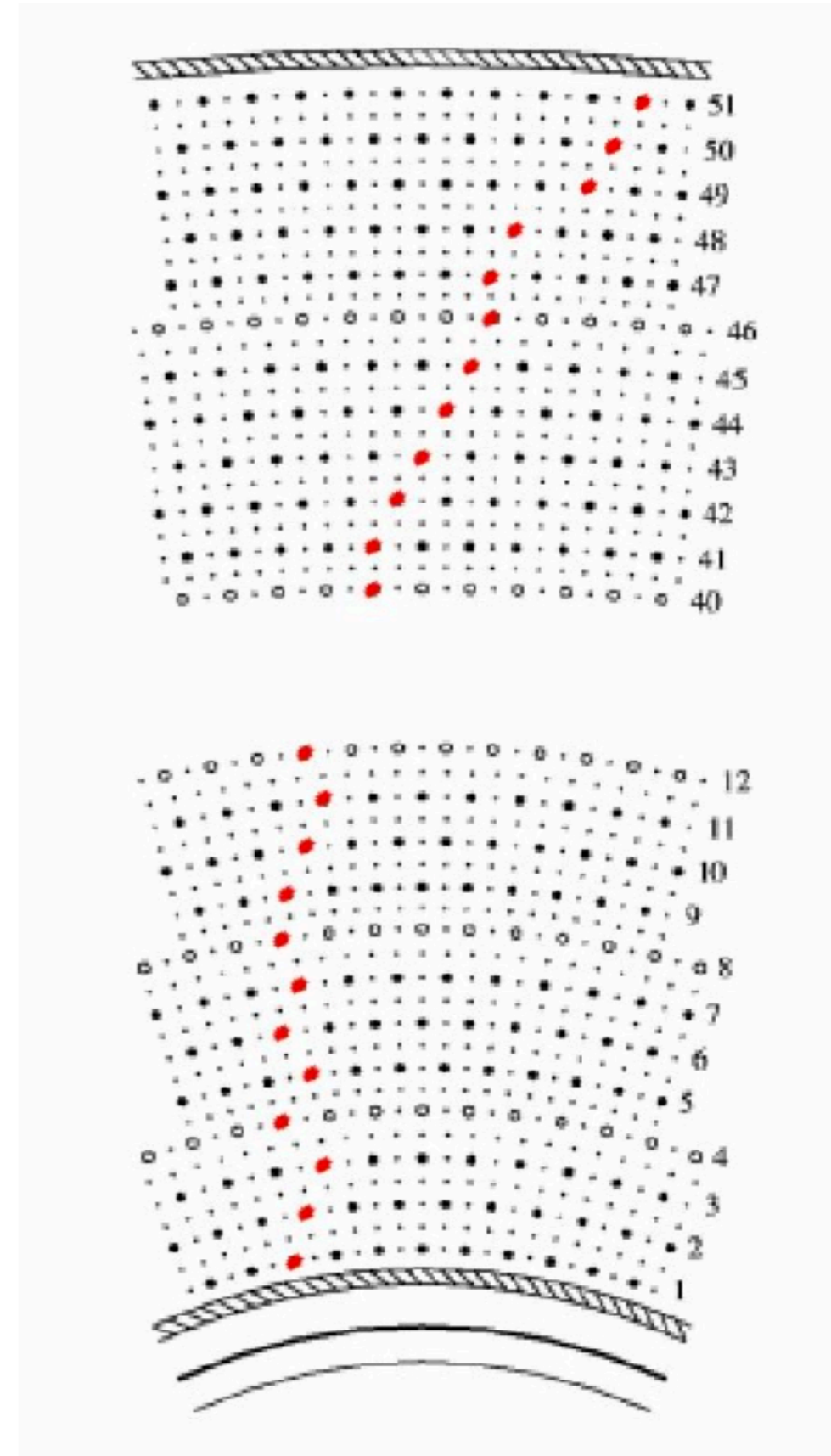




TRACCIARE

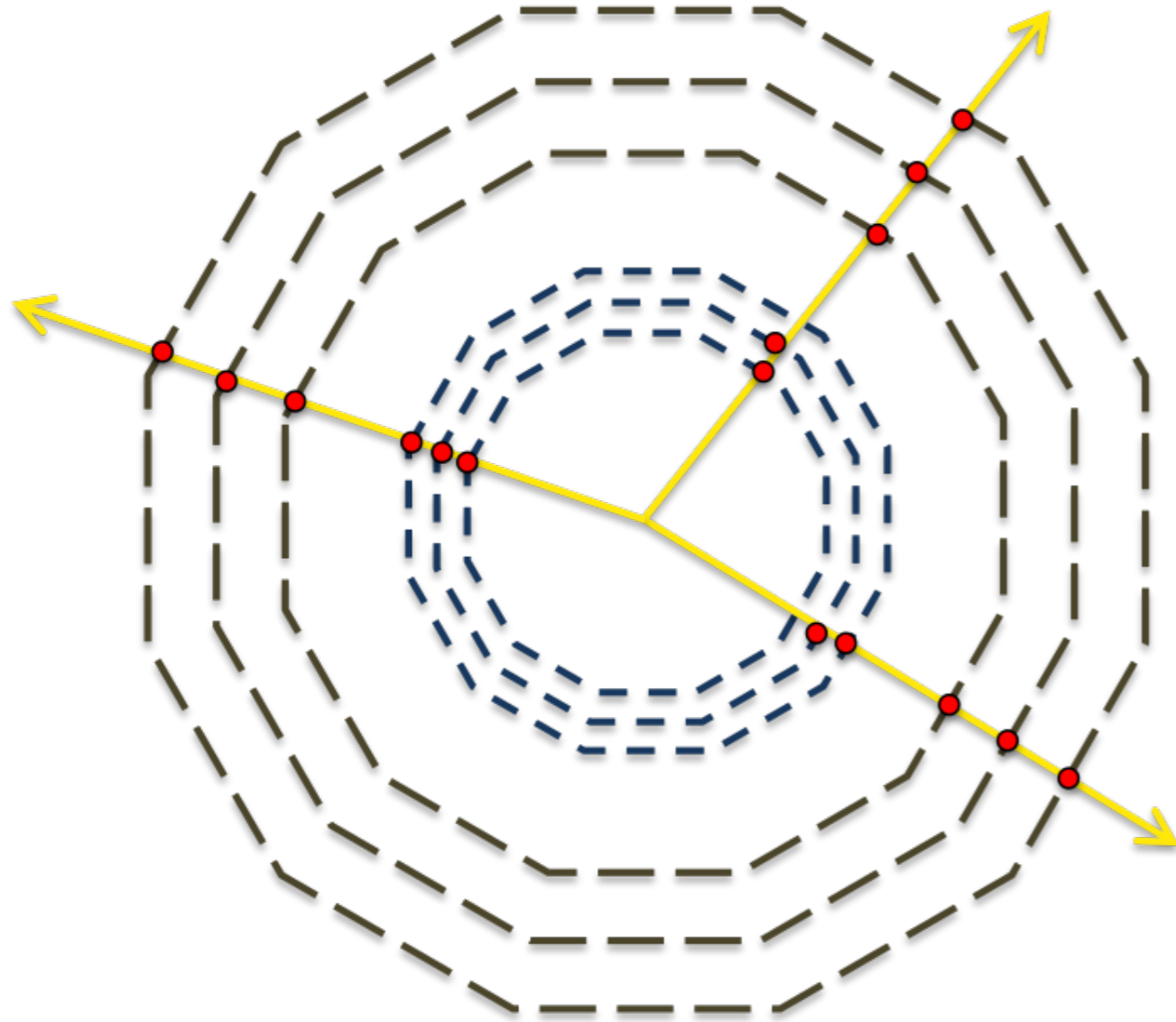


- si ricostruiscono le TRACCE delle particelle partendo dai "punti" lasciati sui rivelatori
- il campo magnetico permette di misurare il momento
- la particella continua lungo la sua traiettoria dopo aver attraversato il rivelatore di tracciamento

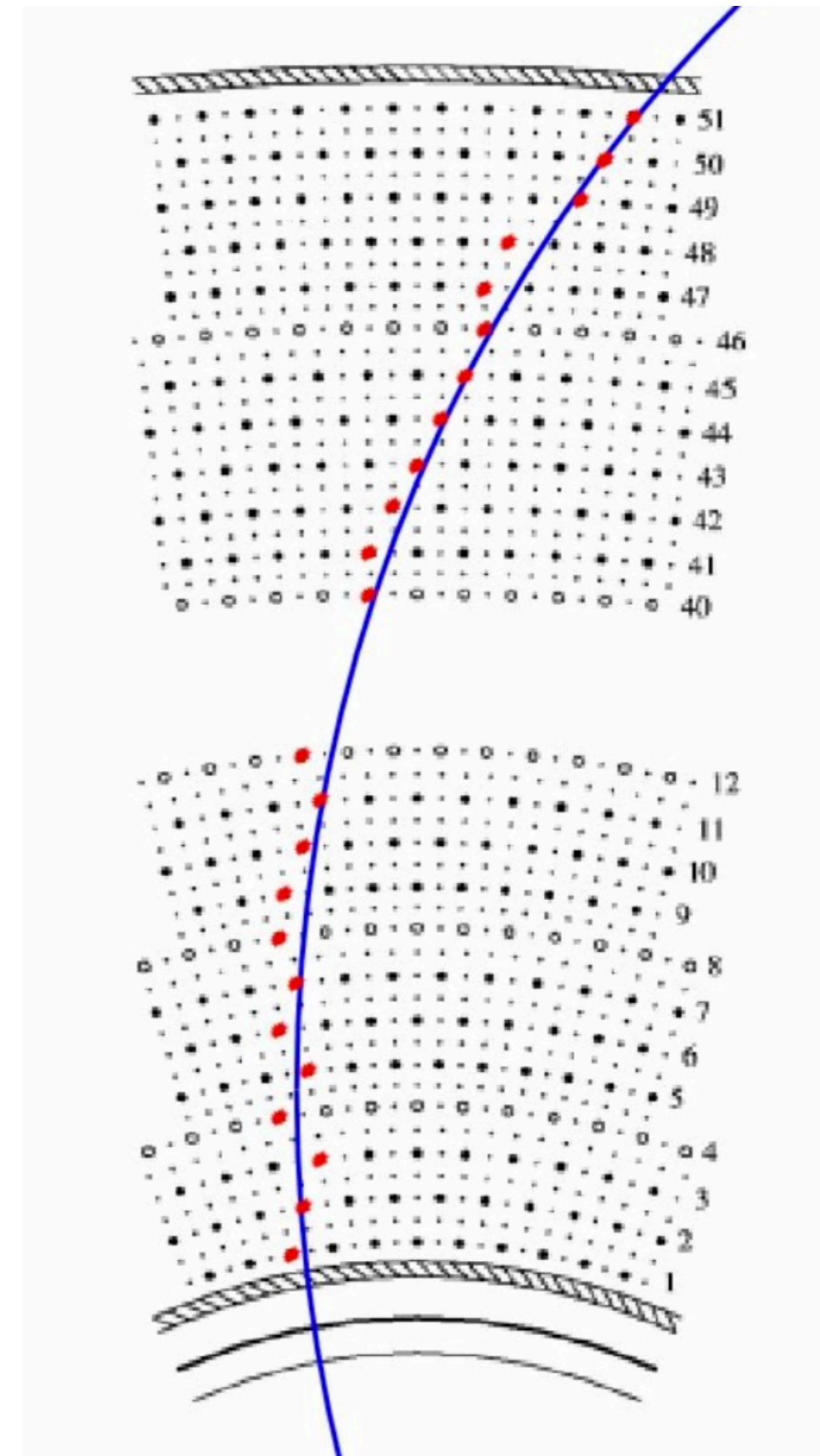




TRACCIARE

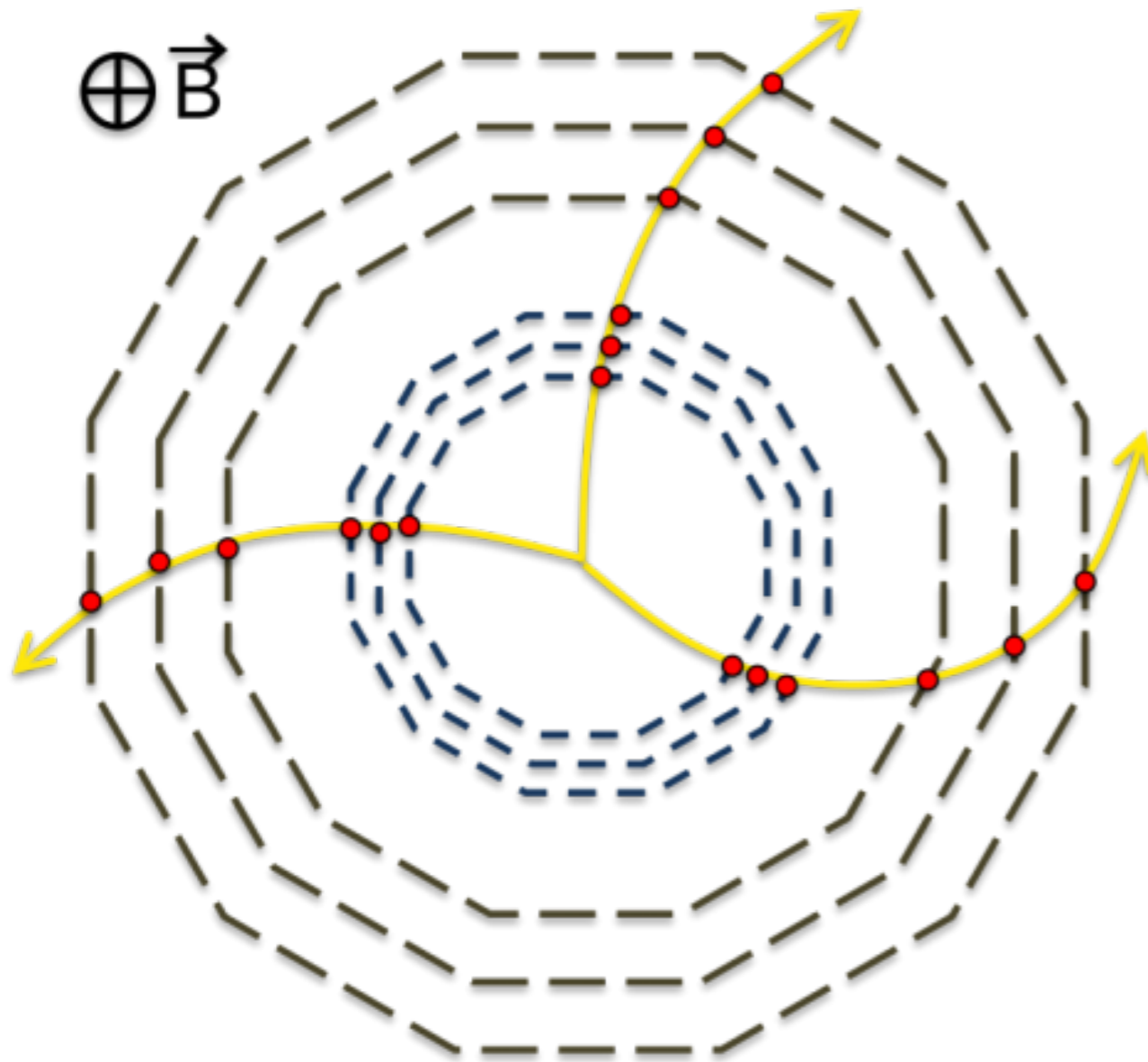


- si ricostruiscono le TRACCE delle particelle partendo dai "punti" lasciati sui rivelatori
- il campo magnetico permette di misurare il momento
- la particella continua lungo la sua traiettoria dopo aver attraversato il rivelatore di tracciamento

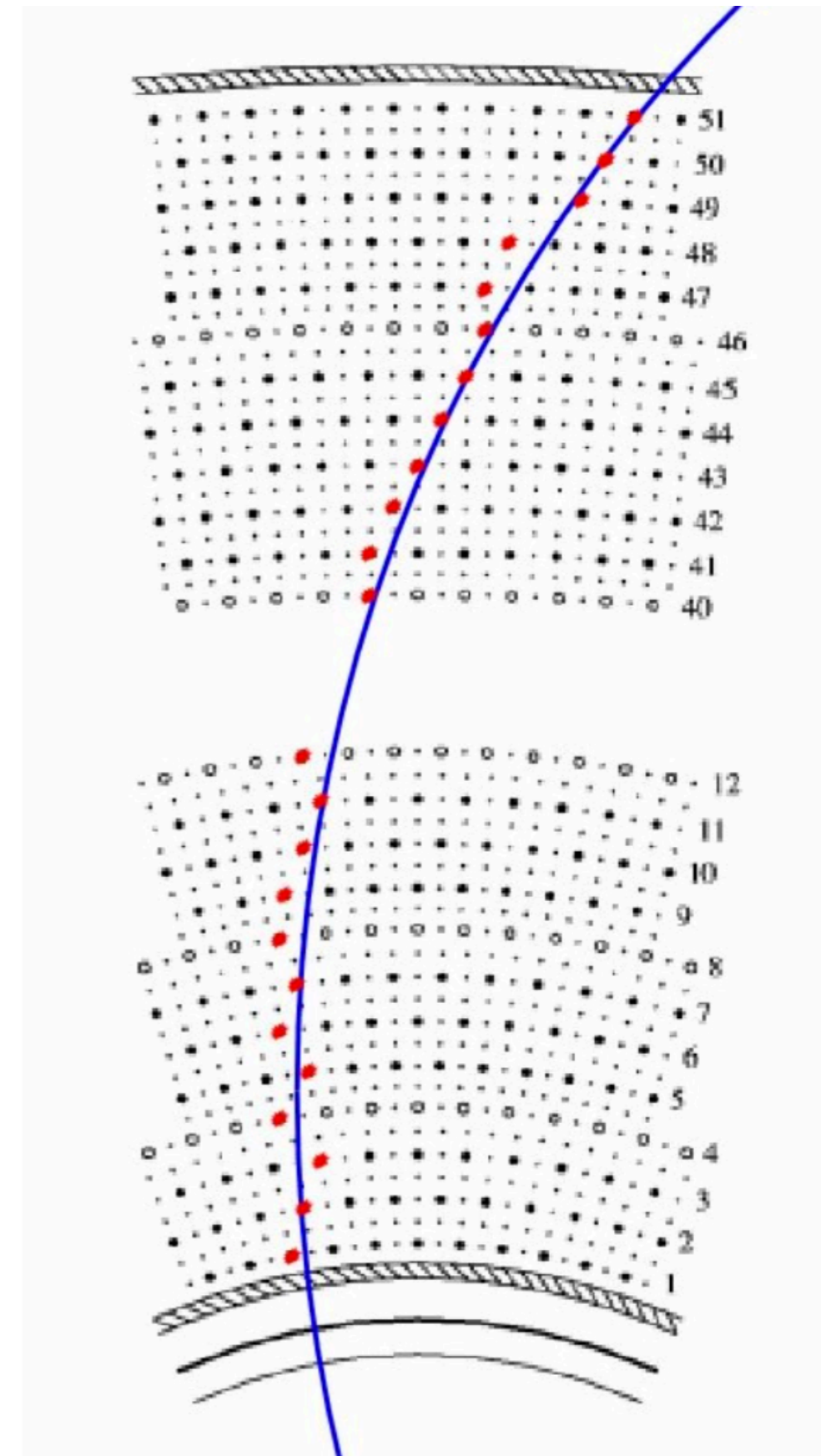




TRACCIARE



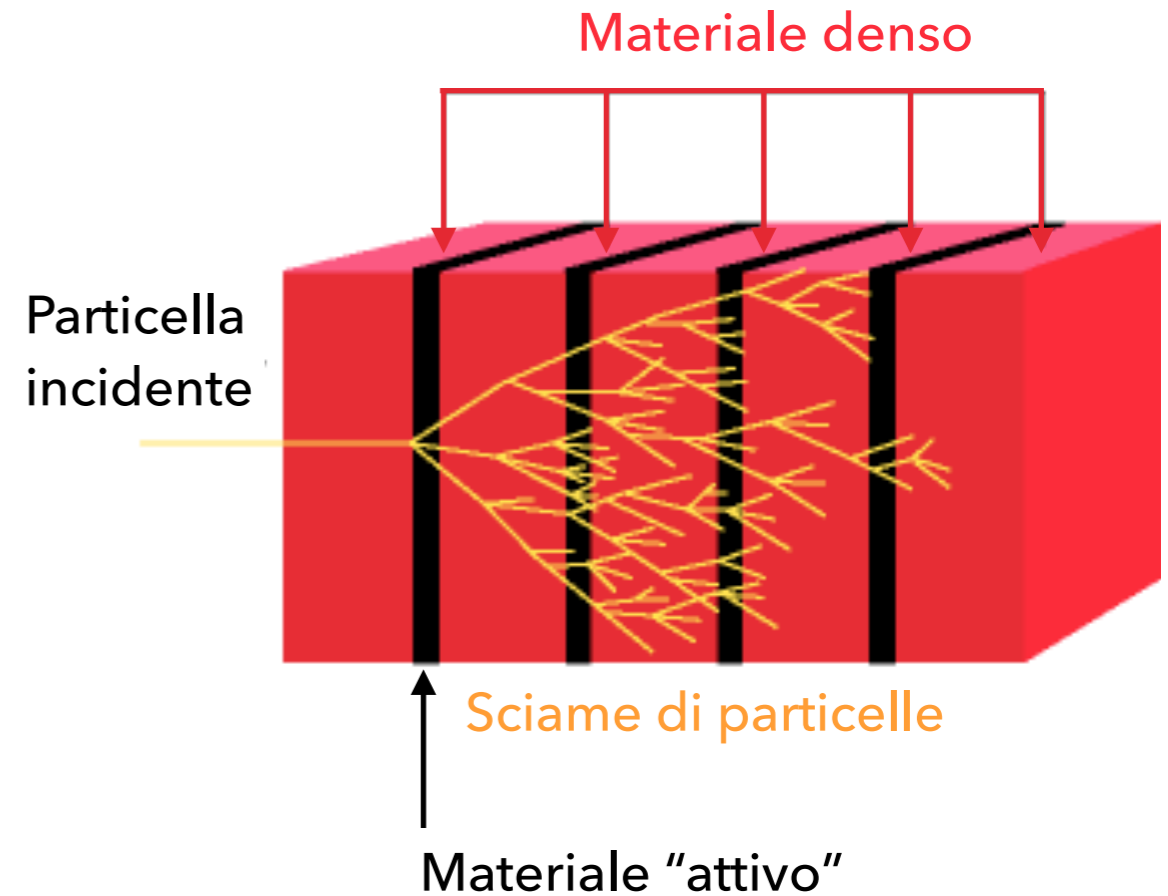
- si ricostruiscono le TRACCE delle particelle partendo dai "punti" lasciati sui rivelatori
- il campo magnetico permette di misurare il momento
- la particella continua lungo la sua traiettoria dopo aver attraversato il rivelatore di tracciamento



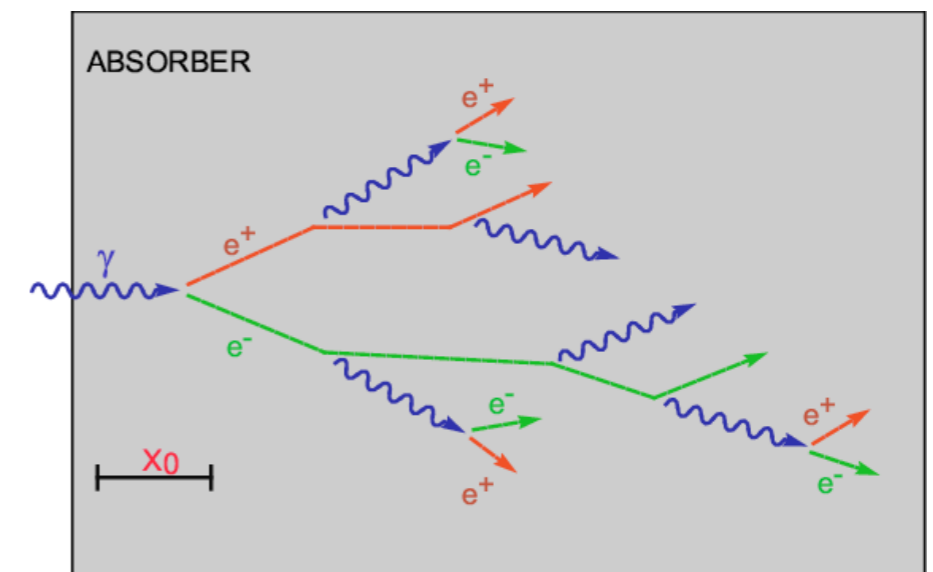


MISURARE L'ENERGIA

- per misurarne l'energia si "bloccano" (o assorbono) le particelle
- si utilizza un materiale molto denso, "passivo", per frenare/fermare la particella
- strati di materiale sensibile, "attivo", interposti tra strati di materiale pesante misurano l'energia rilasciata ➔ campionamento dell'energia persa dalla particella

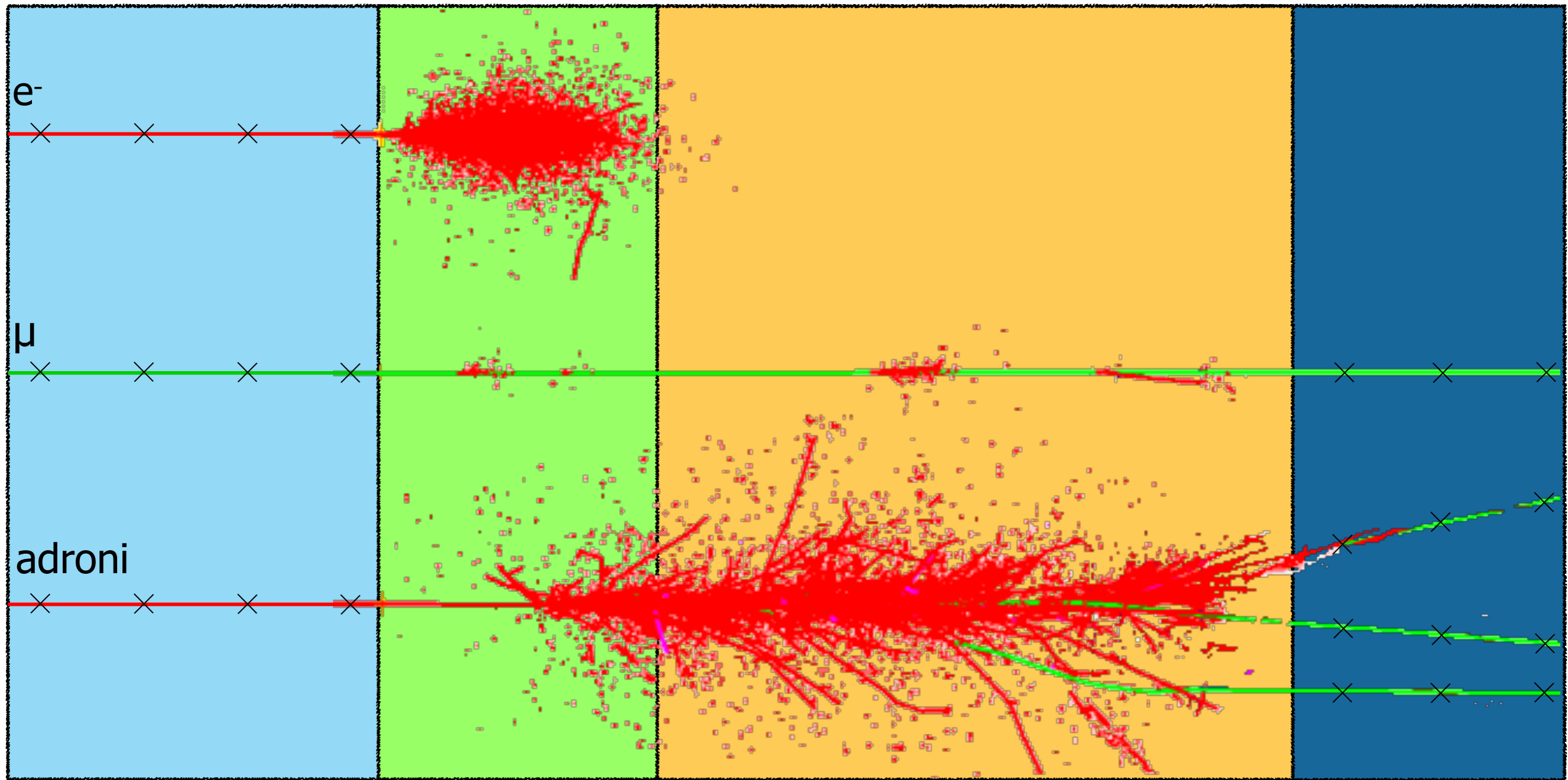


- calorimetri **ELETTROMAGNETICI** ➔ rivelano elettroni e fotoni misurando l'energia rilasciata dallo sciame elettromagnetico
- calorimetri **ADRONICI** ➔ rivelano particelle adroniche che producono uno sciame adronico interagendo con i nuclei del materiale denso





TECNICHE DI RIVELAZIONE



TRACCIAMENTO: poco materiale, misura precisa della posizione

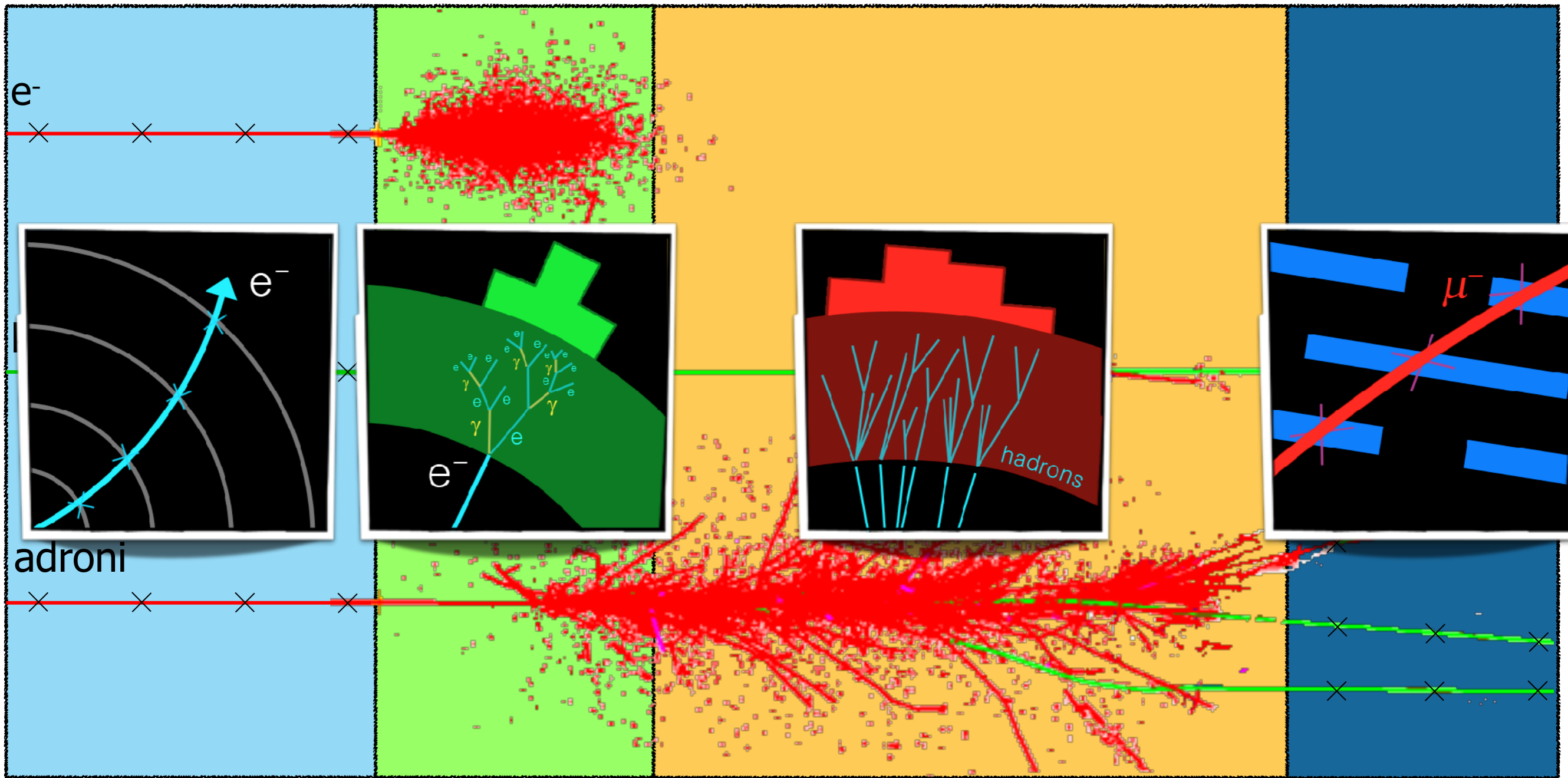
CALORIMETRO EM: misura l'energia depositata dagli sciami EM

CALORIMETRO ADRONICO: misura l'energia dello sciame adronico.

RIVELATORE DI μ : tracciamento dei μ



TECNICHE DI RIVELAZIONE



TRACCIAMENTO: poco materiale, misura precisa della posizione

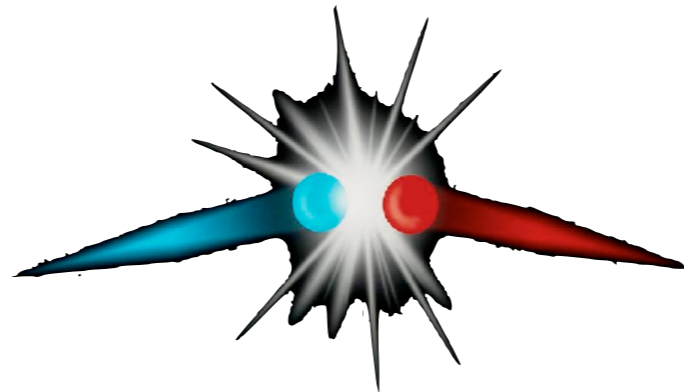
CALORIMETRO EM: misura l'energia depositata dagli sciame EM

CALORIMETRO ADRONICO: misura l'energia dello sciame adronico.

RIVELATORE DI μ : tracciamento dei μ

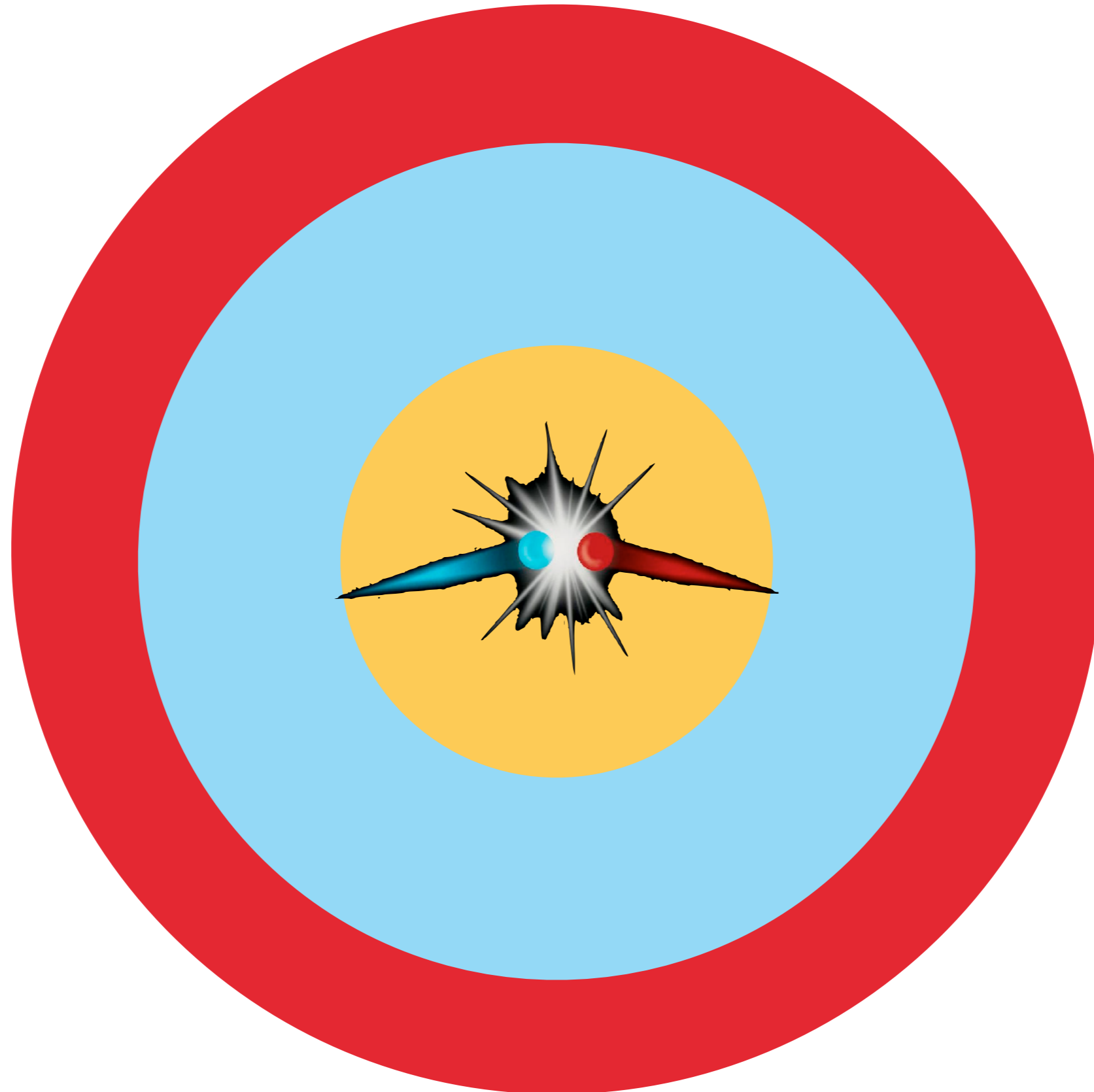


STRATEGIA



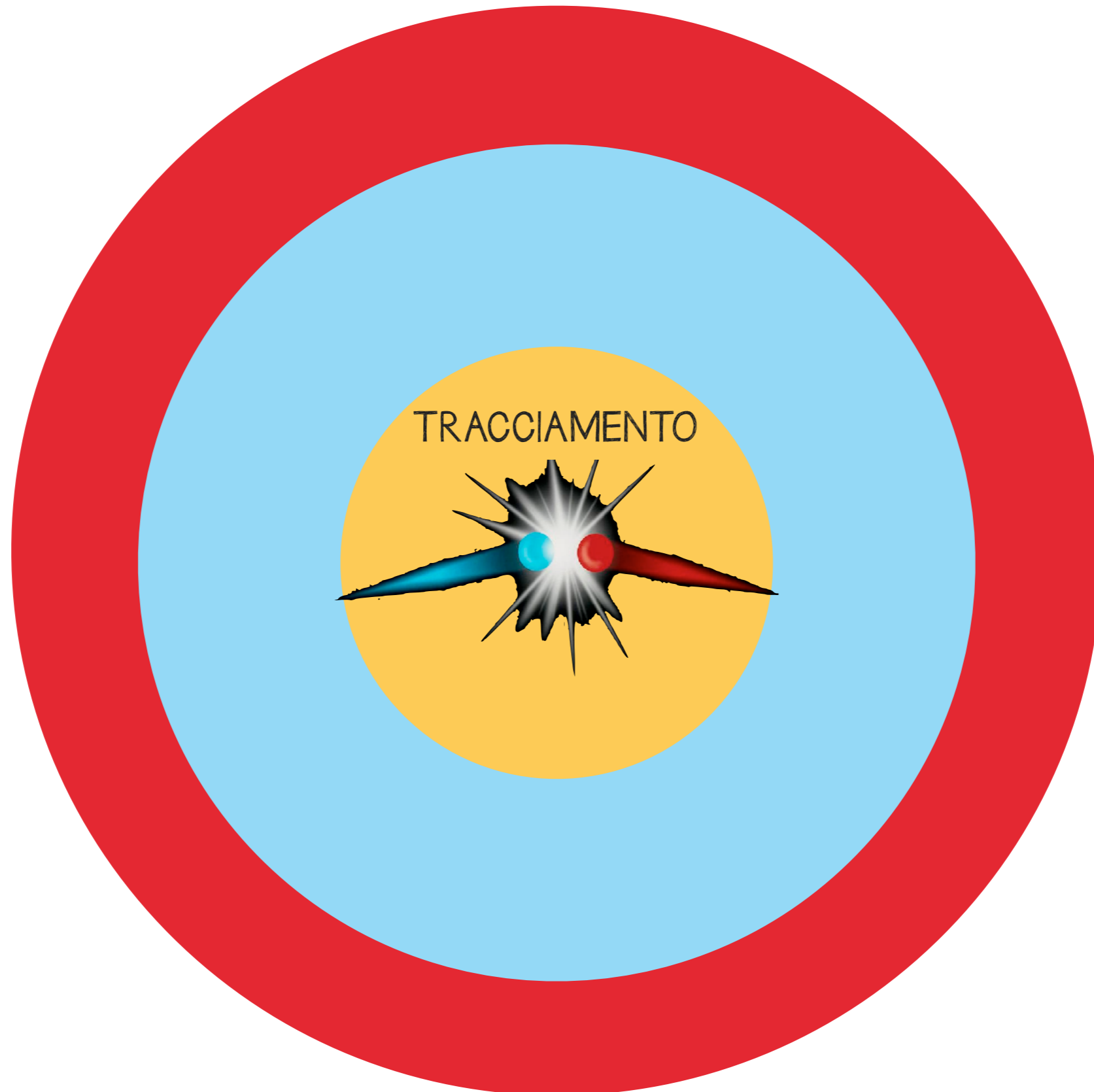


STRATEGIA



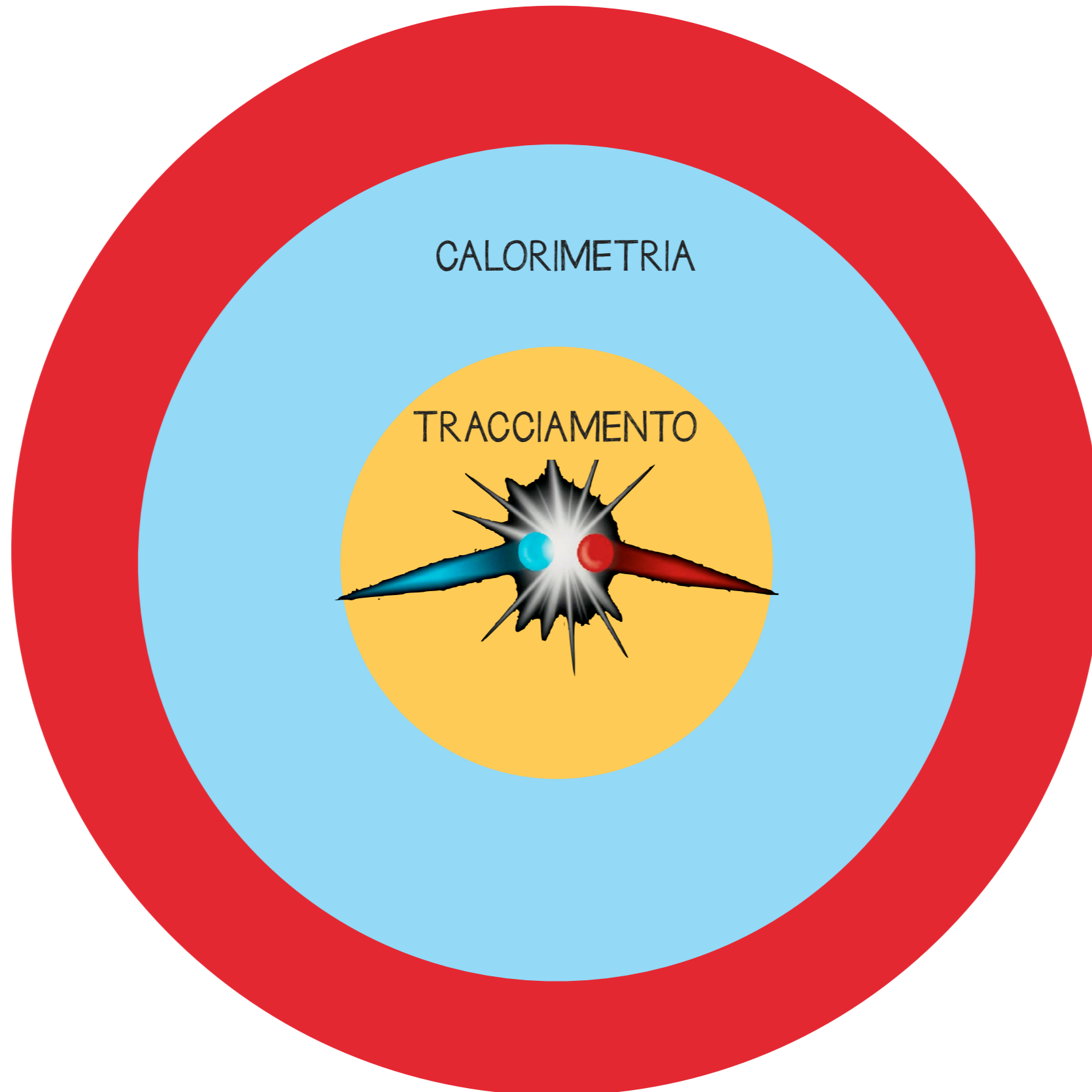


STRATEGIA



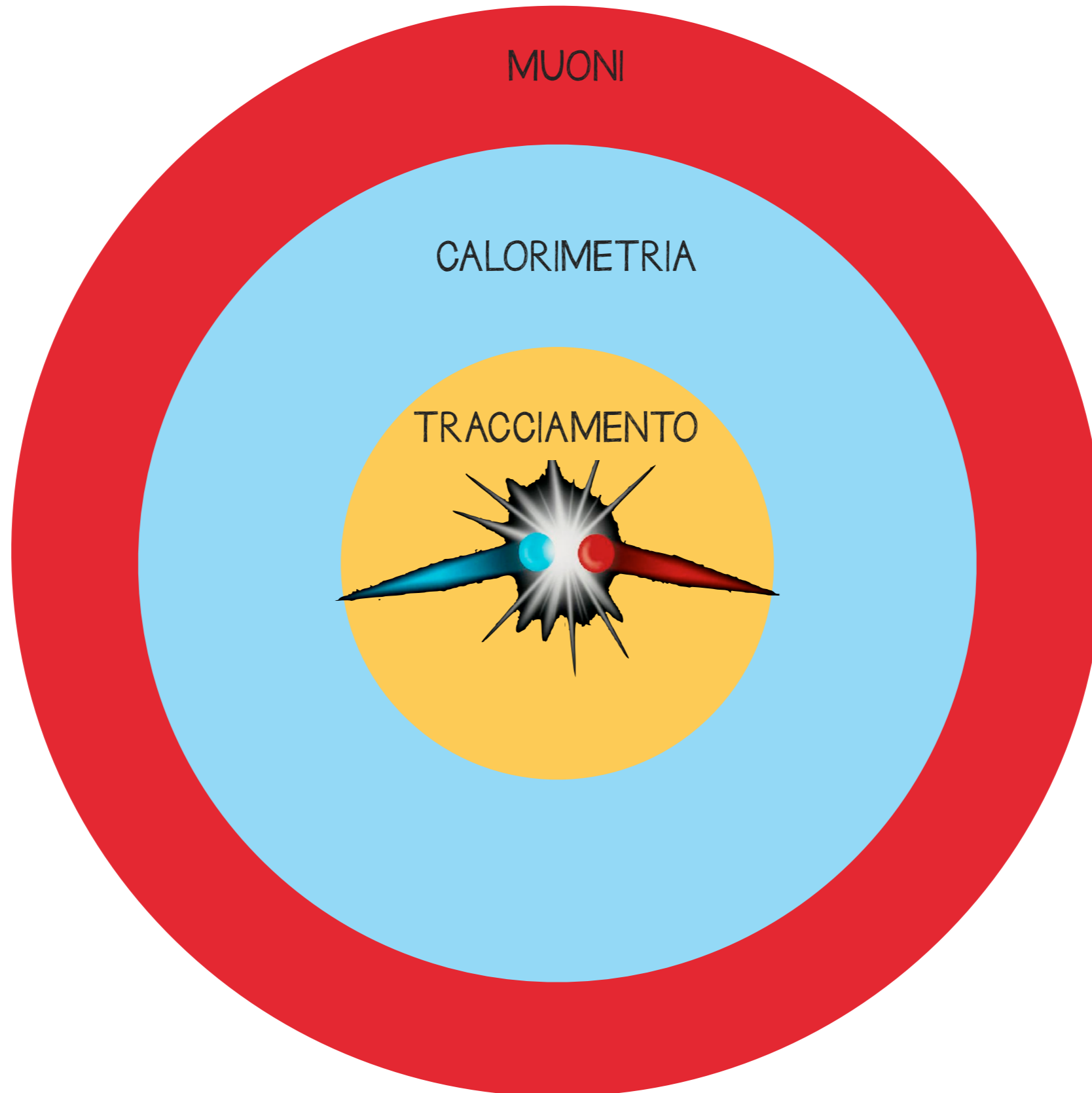


STRATEGIA





STRATEGIA

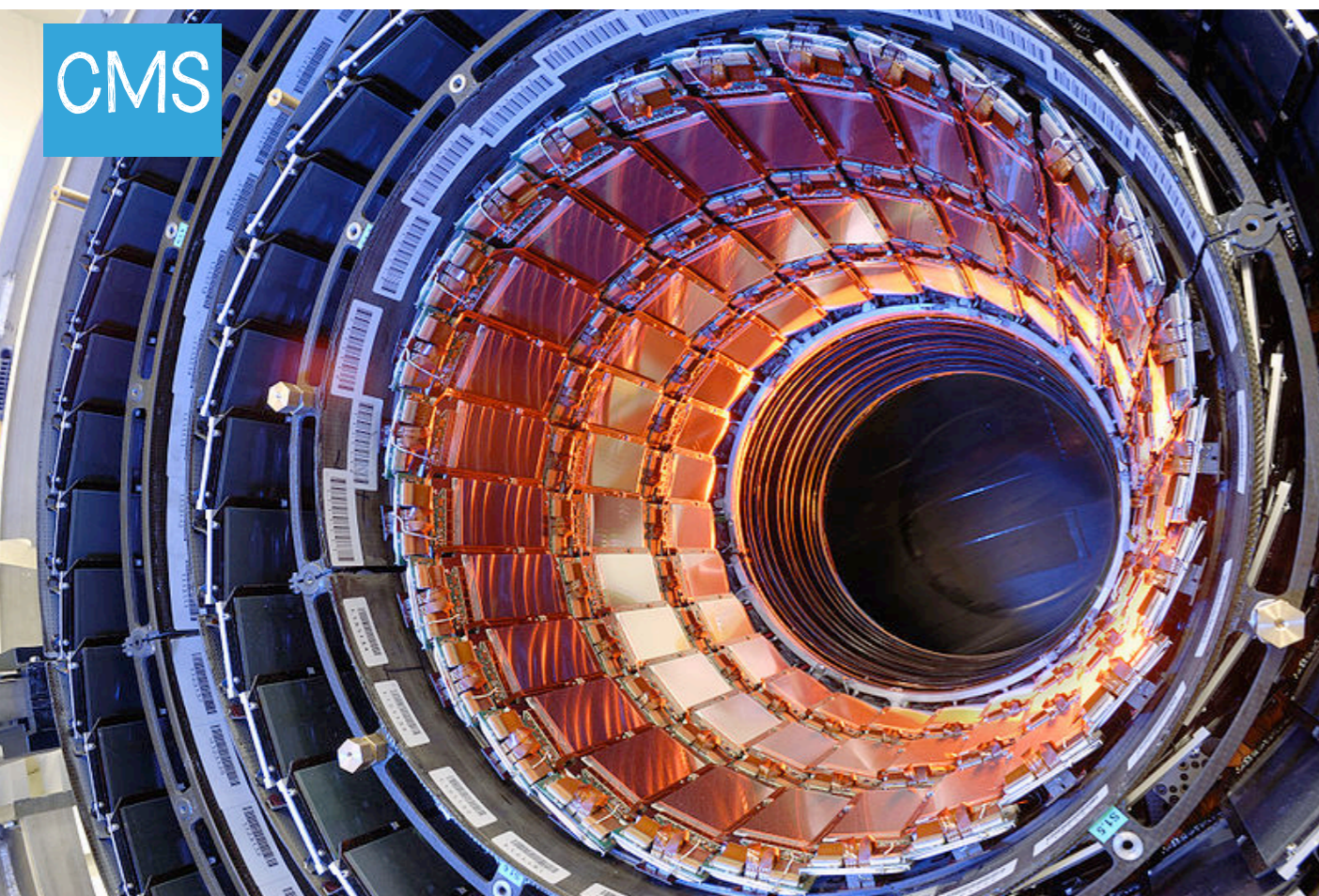




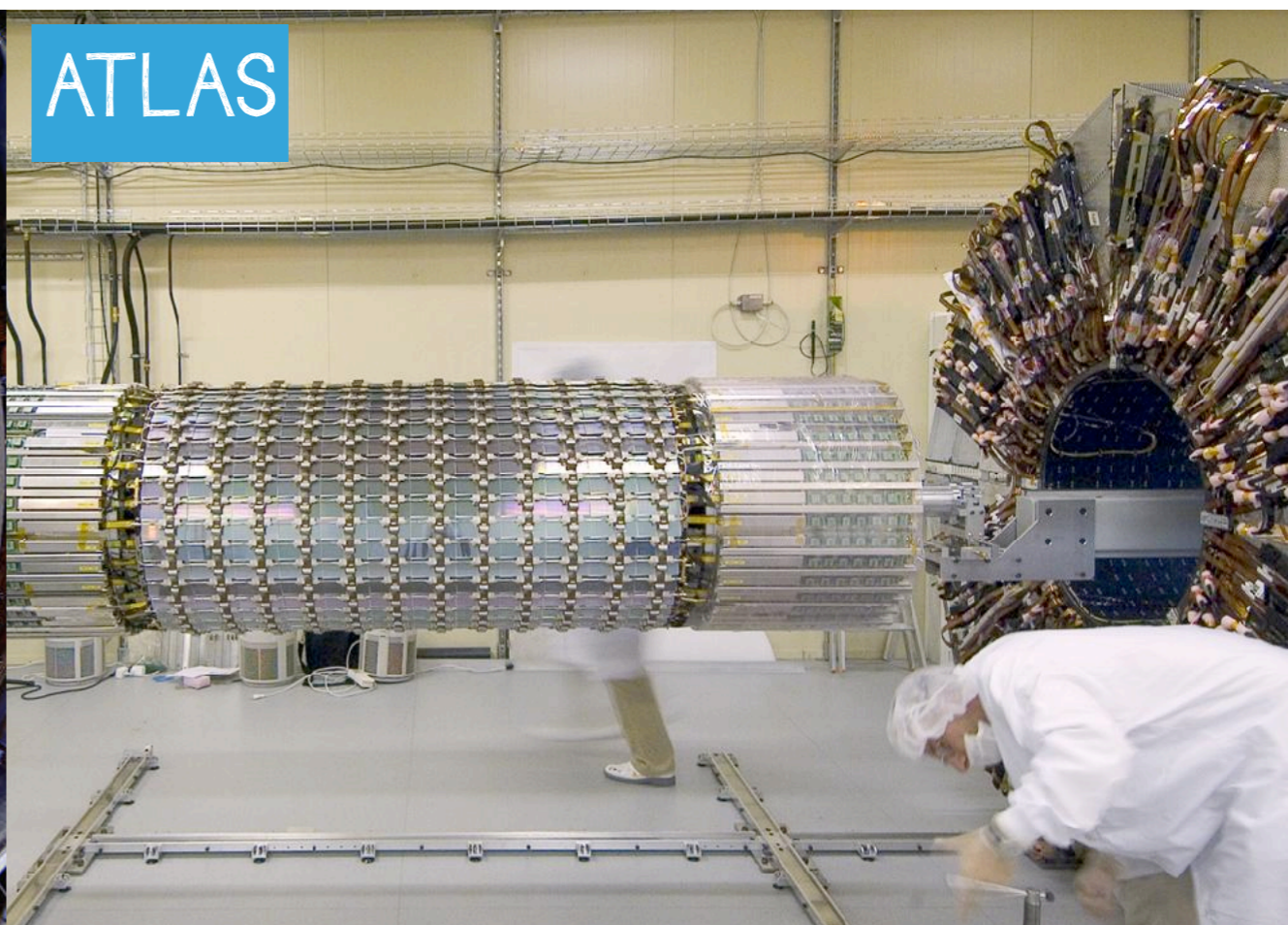
TRACCIATORI



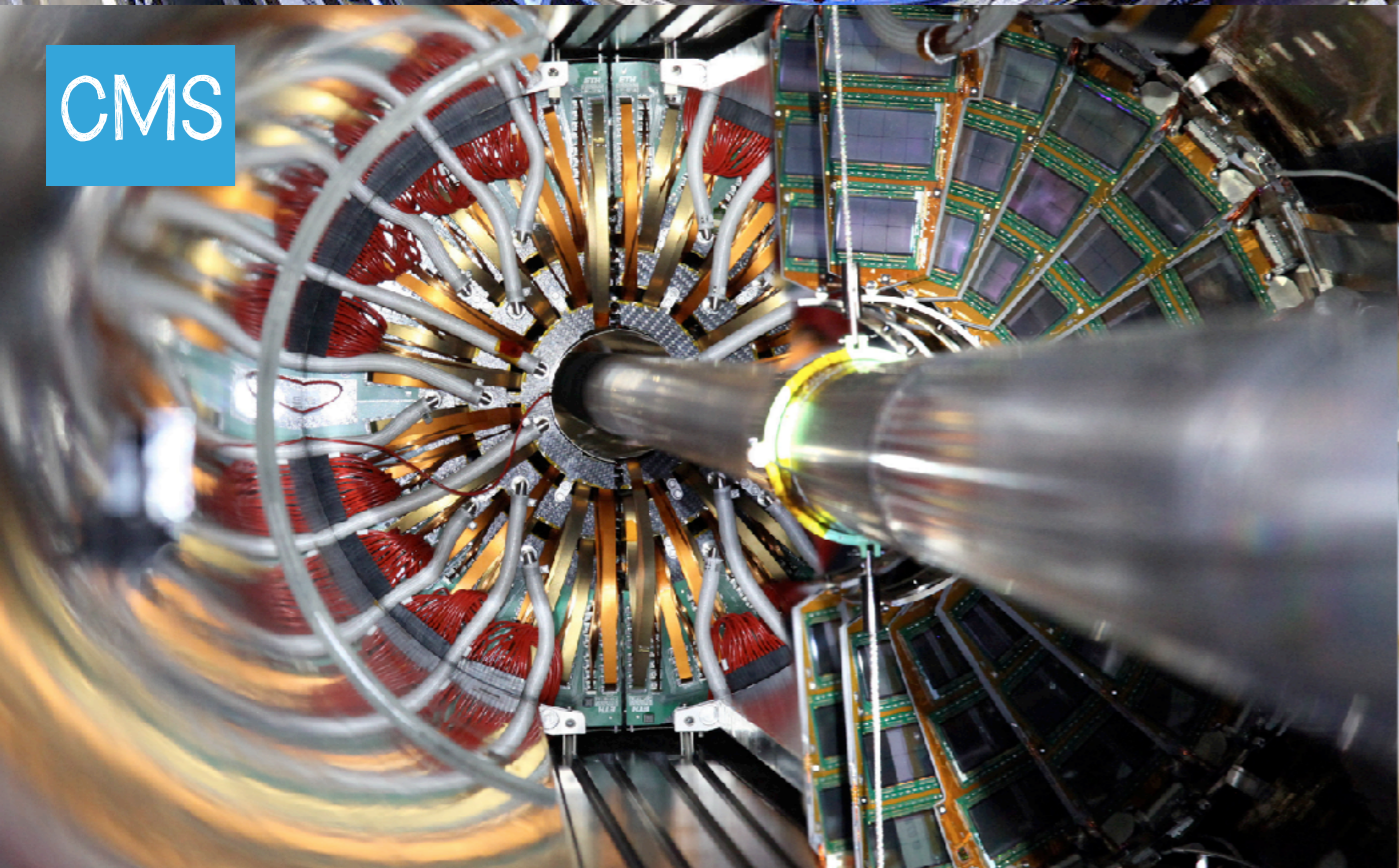
CMS



ATLAS



CMS



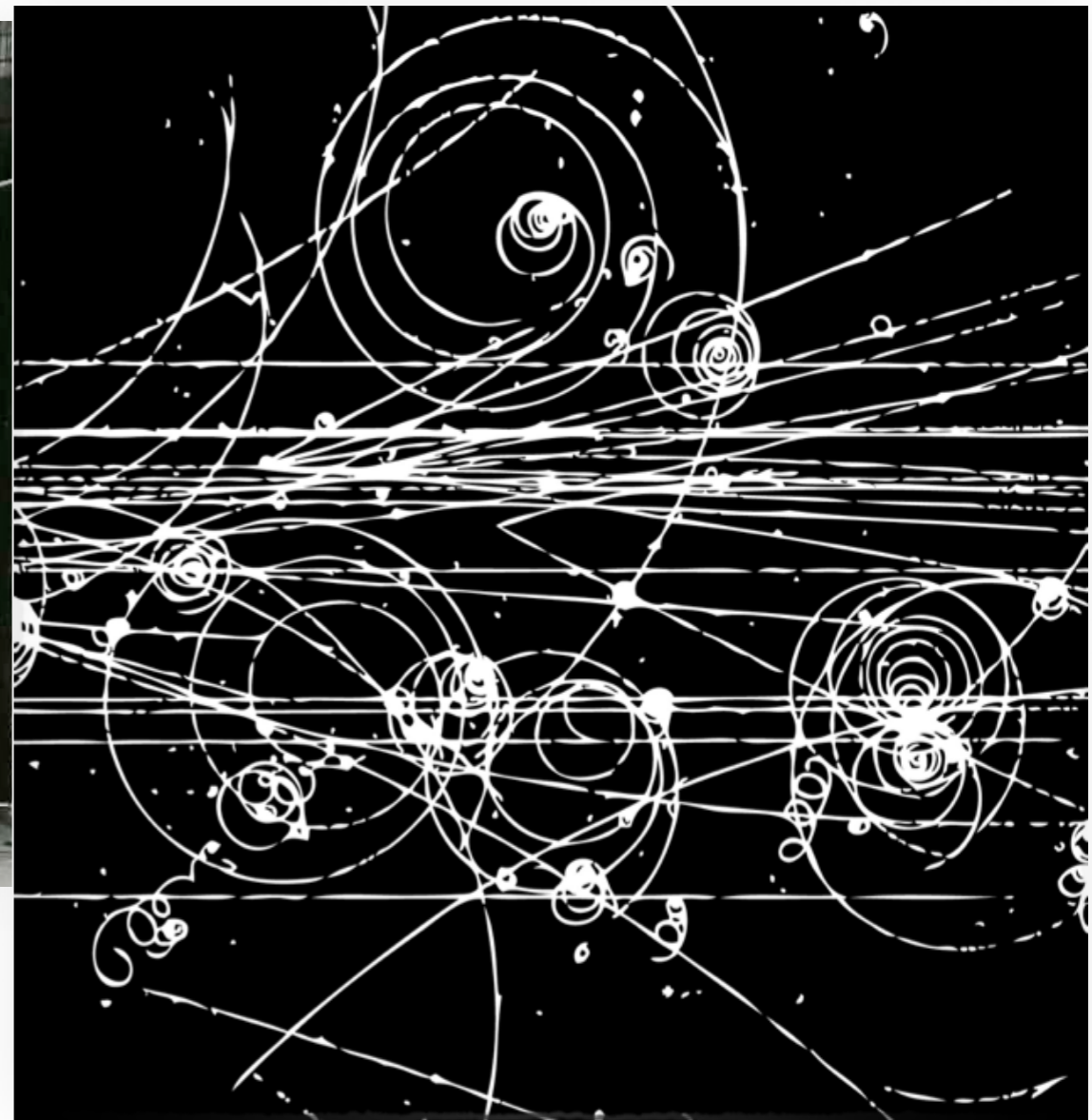
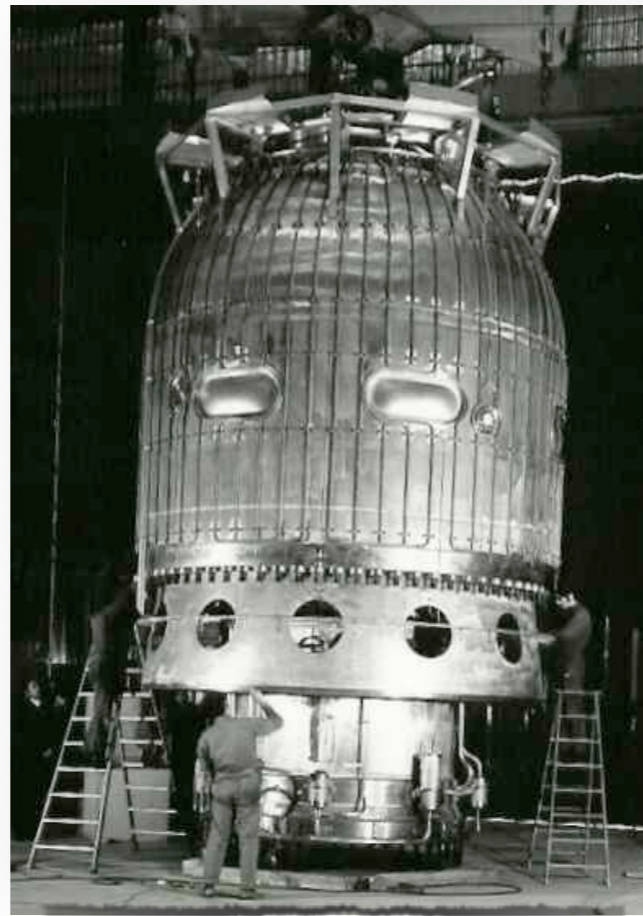
LHCB





EVOLUZIONE...

CAMERE A BOLLE
(~1950)

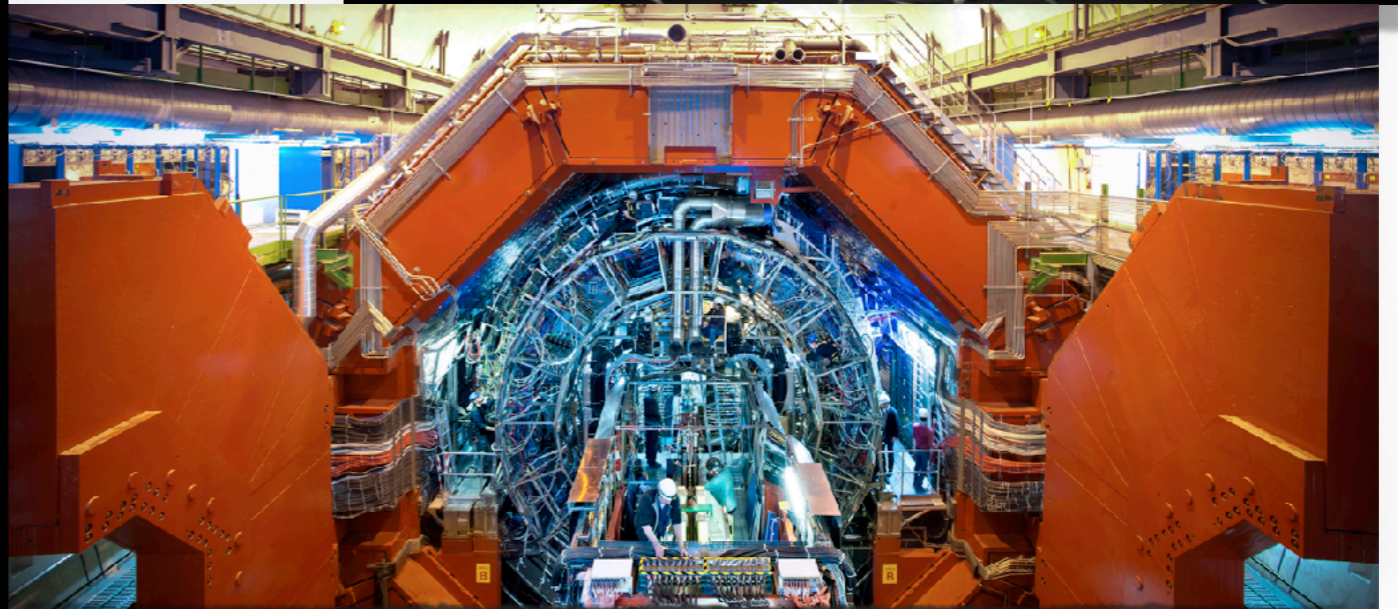
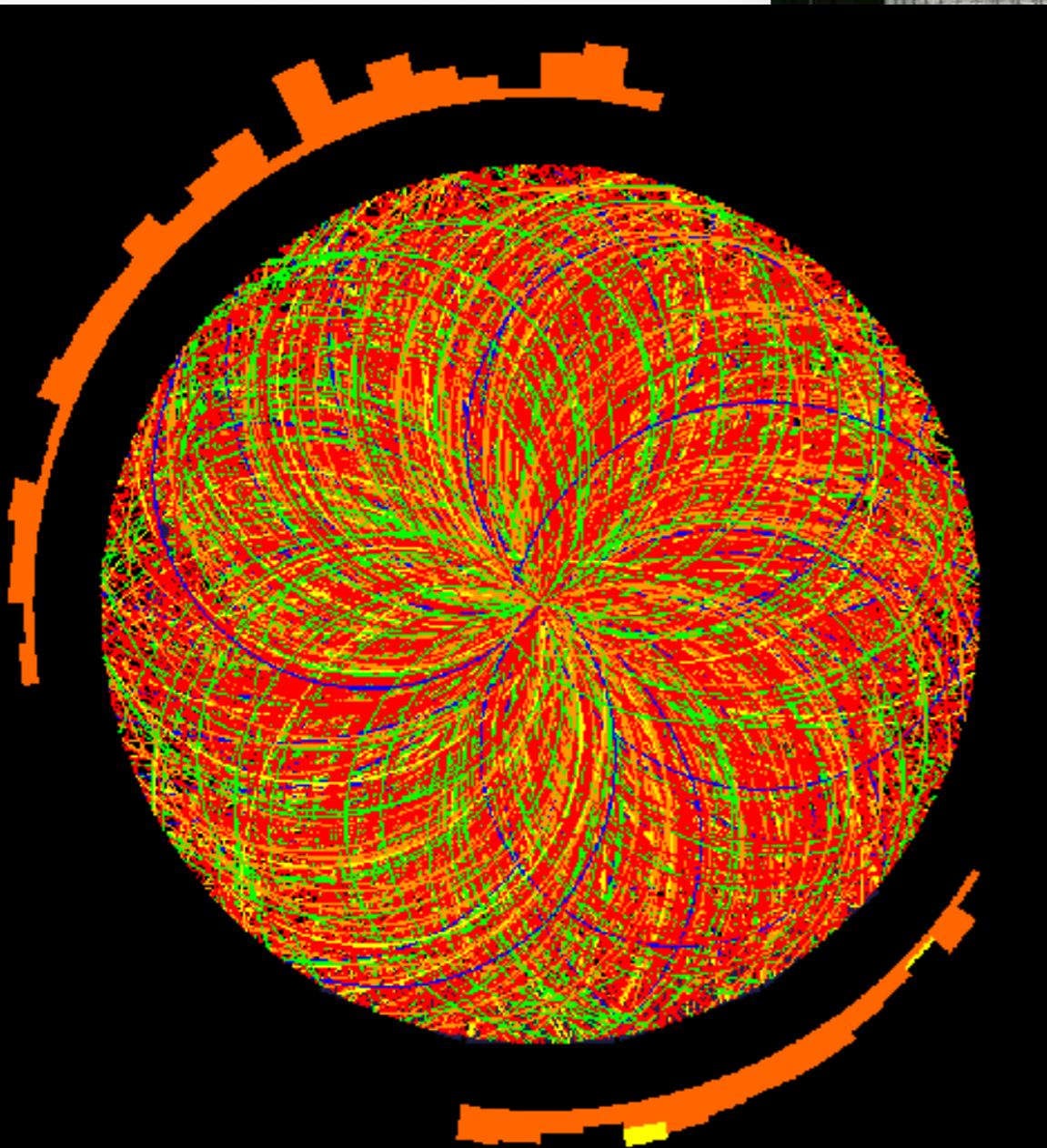
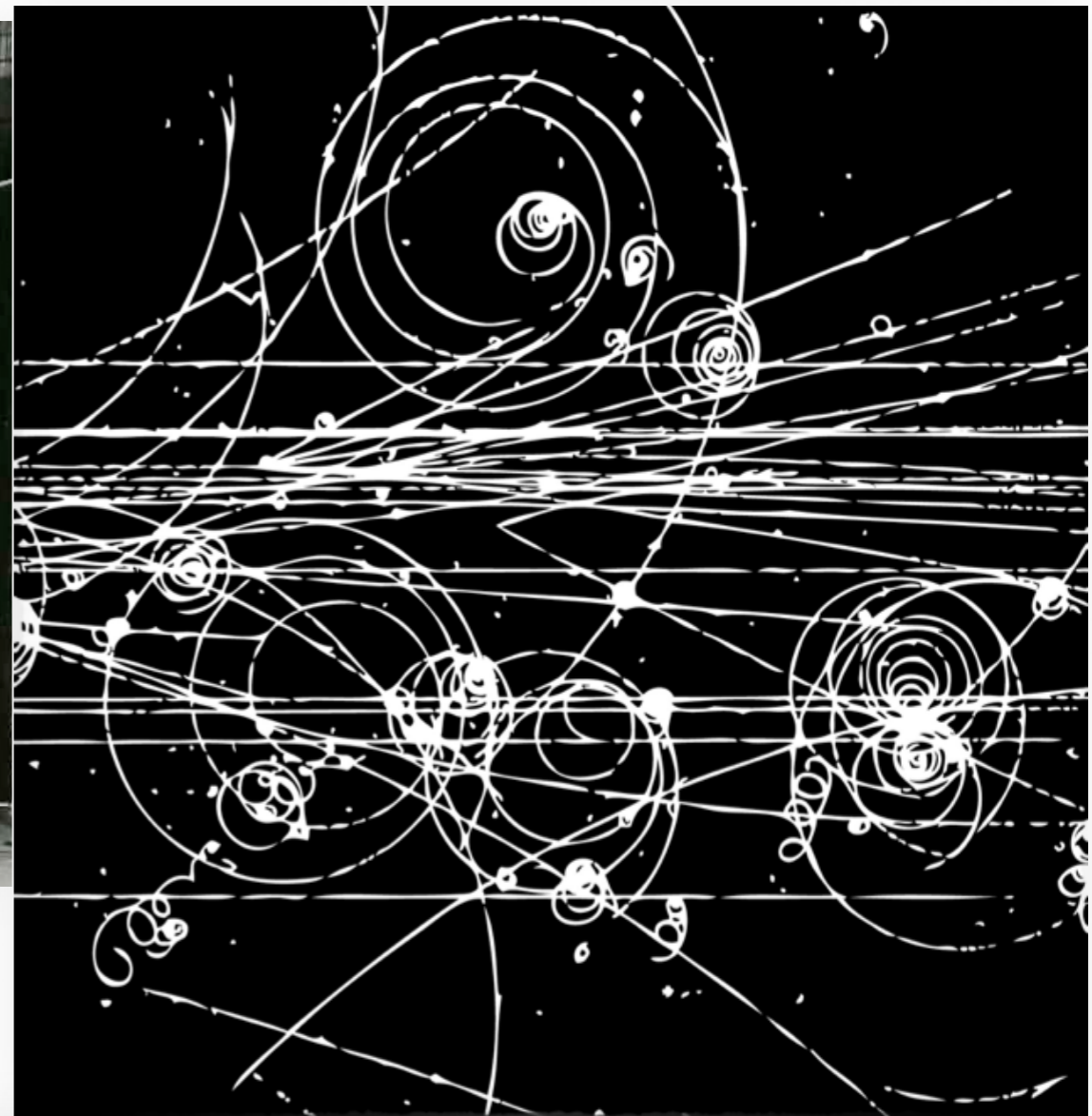
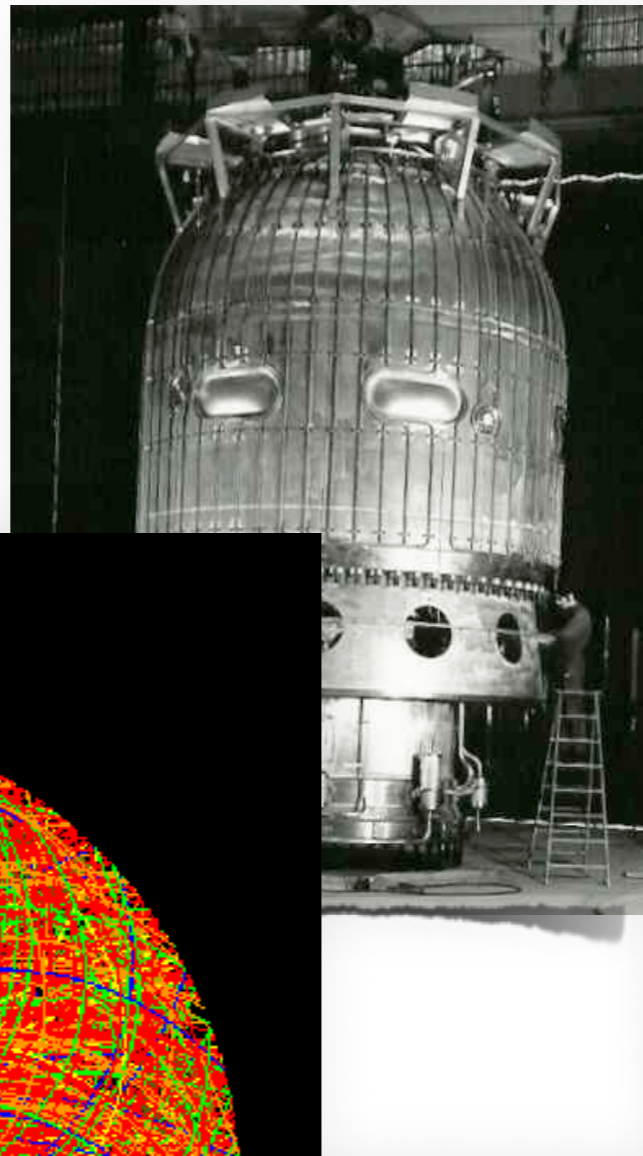




EVOLUZIONE...

CAMERE A BOLLE
(~1950)

ESPERIMENTI LHC

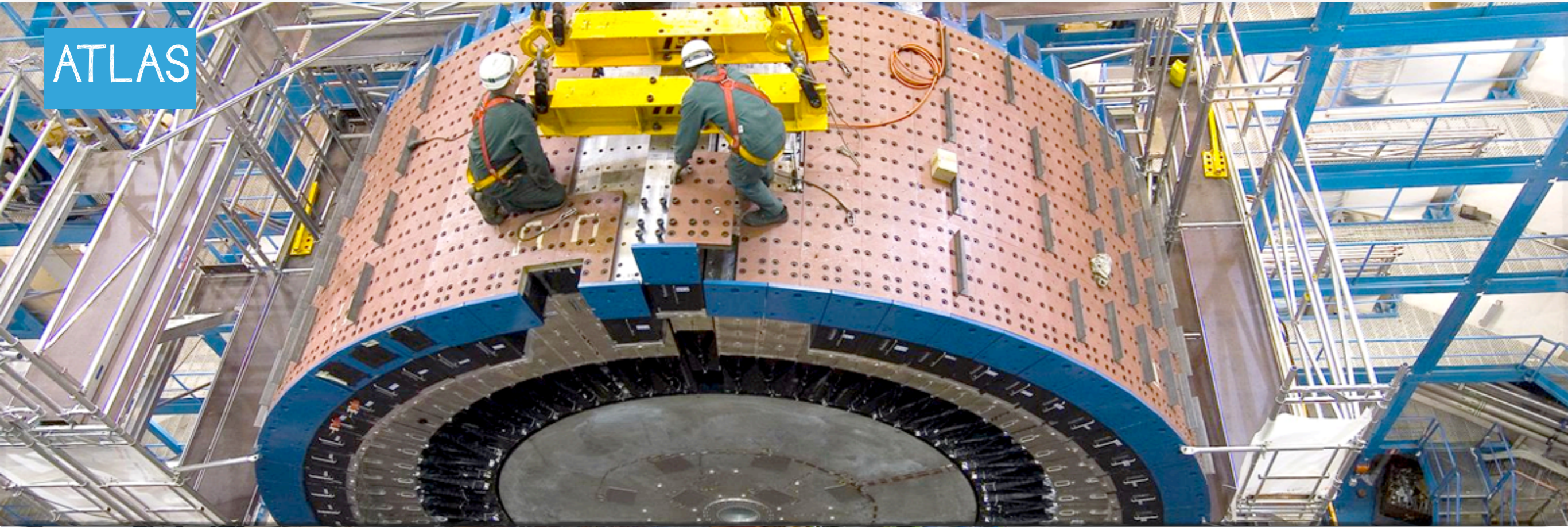




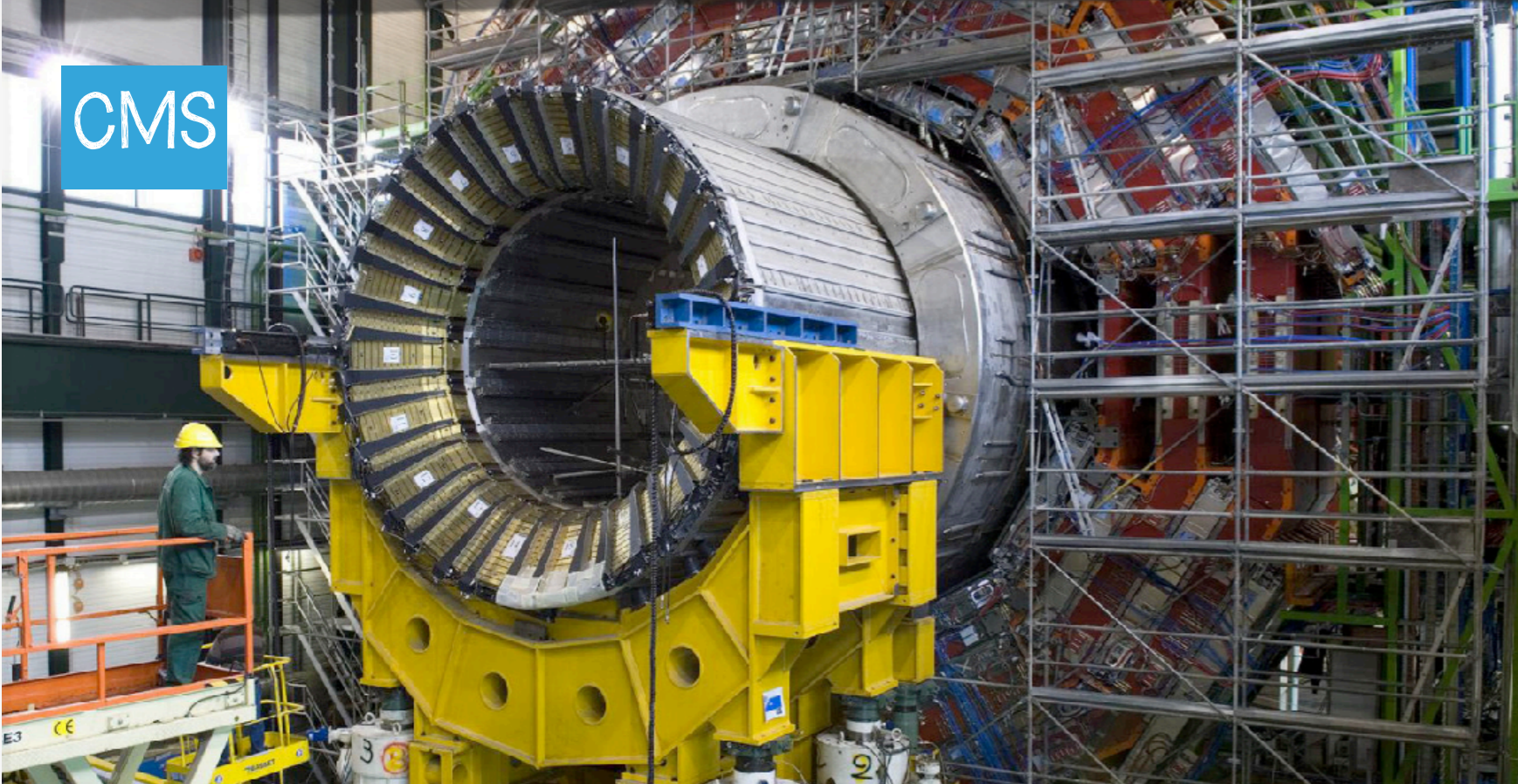
CALORIMETRI



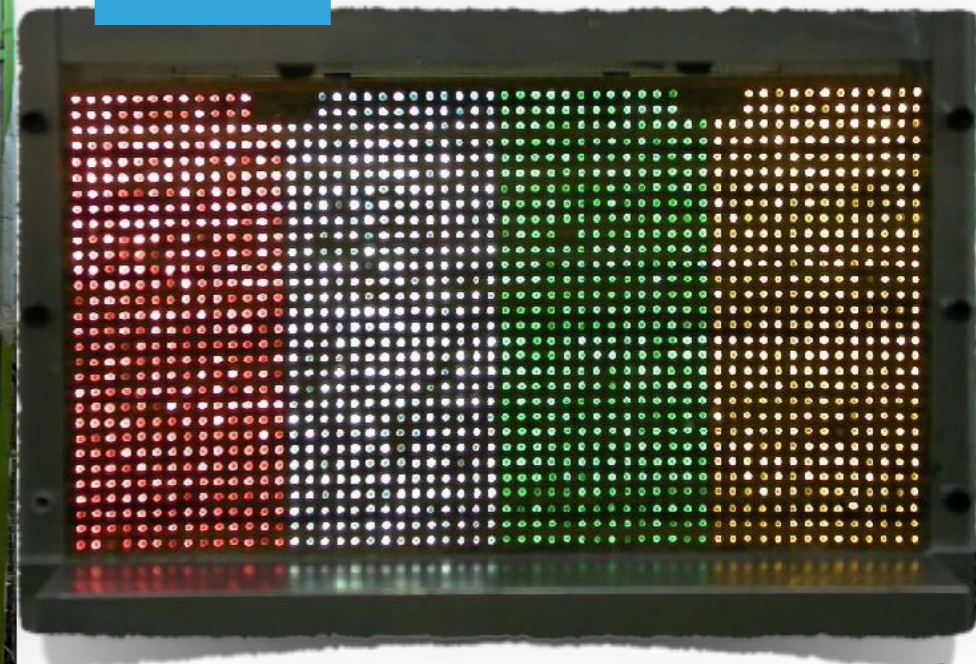
ATLAS



CMS



ALICE

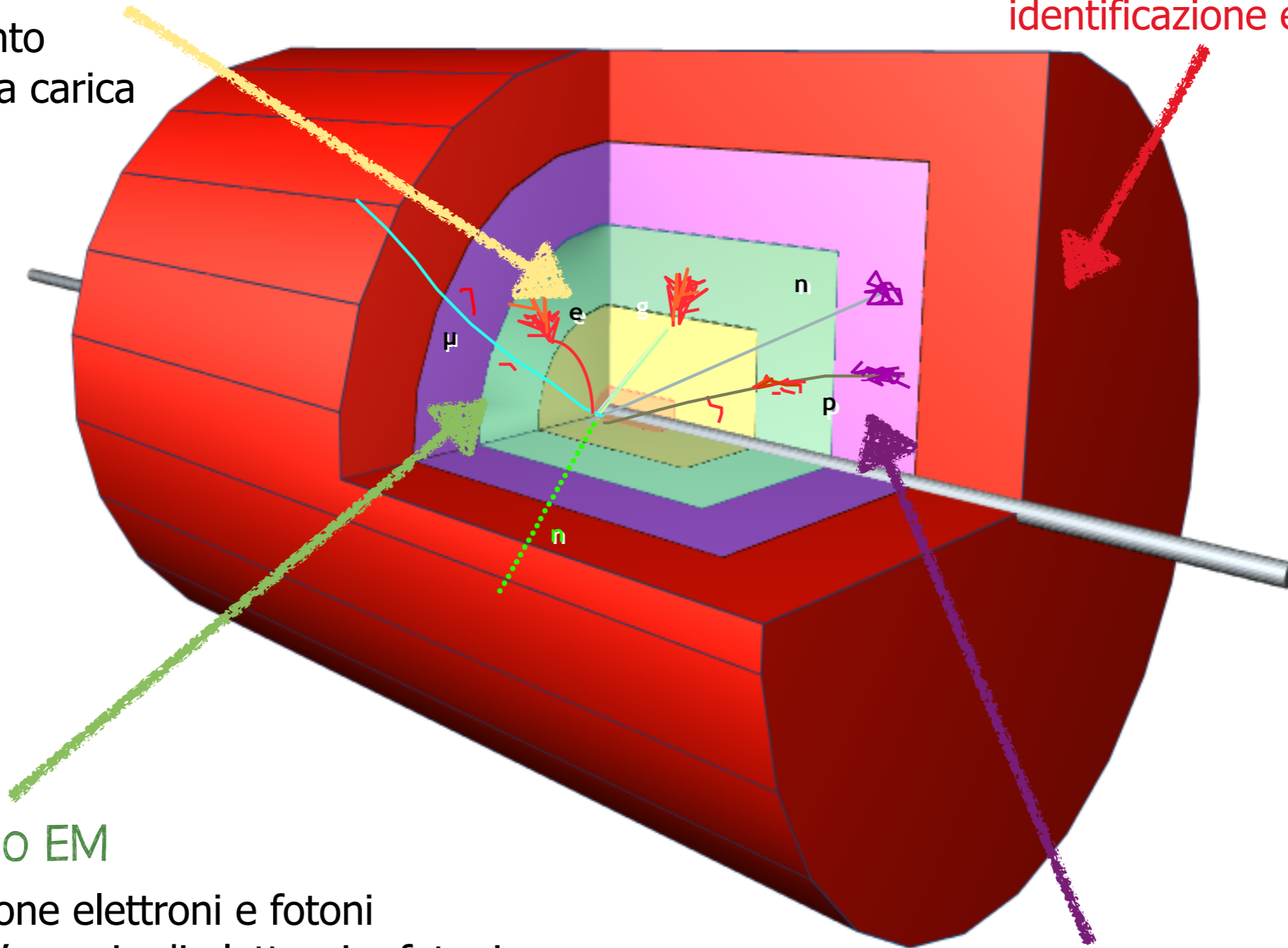




Rivelatori di tracciamento

- tracciamento
- segno della carica

Rivelatori di muoni identificazione e misura dei μ



Calorimetro EM

- identificazione elettroni e fotoni
- misura dell'energia di elettroni e fotoni


Calorimetro adronico

- misura di energia di adroni carichi
- misura energia mancante

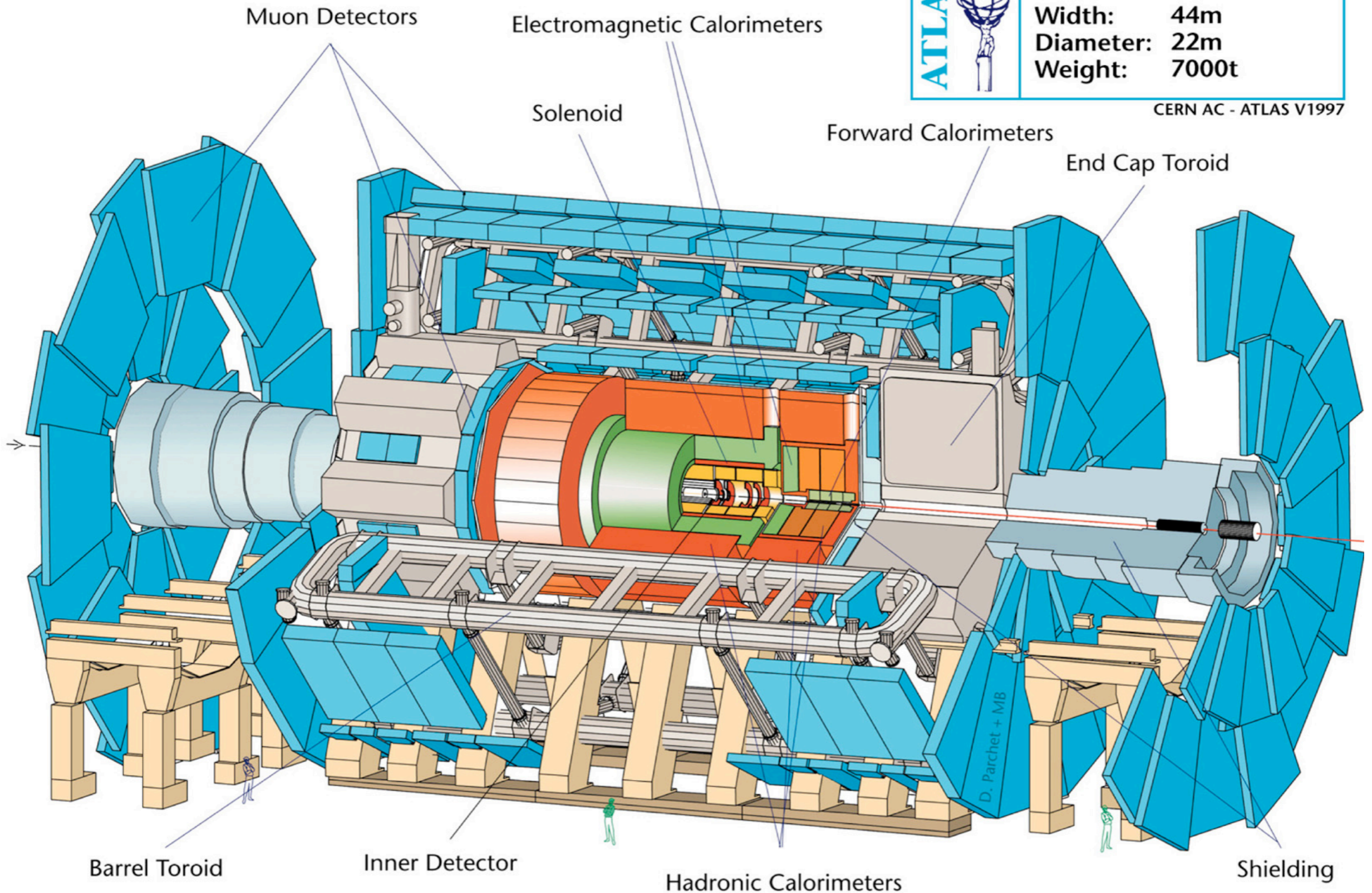


LHC: ATLAS



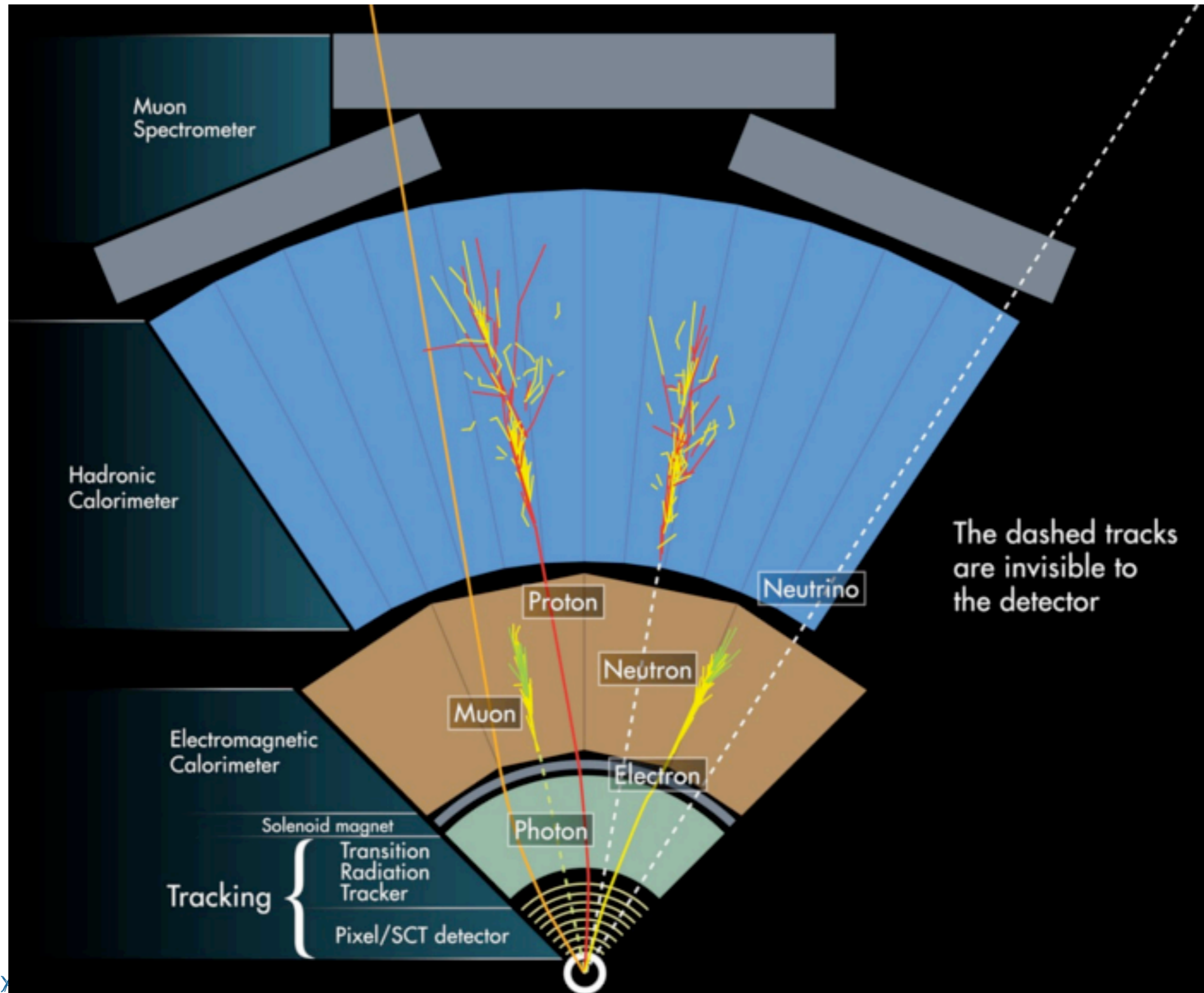
ATLAS 	Detector characteristics	
	Width:	44m
	Diameter:	22m
	Weight:	7000t

CERN AC - ATLAS V1997





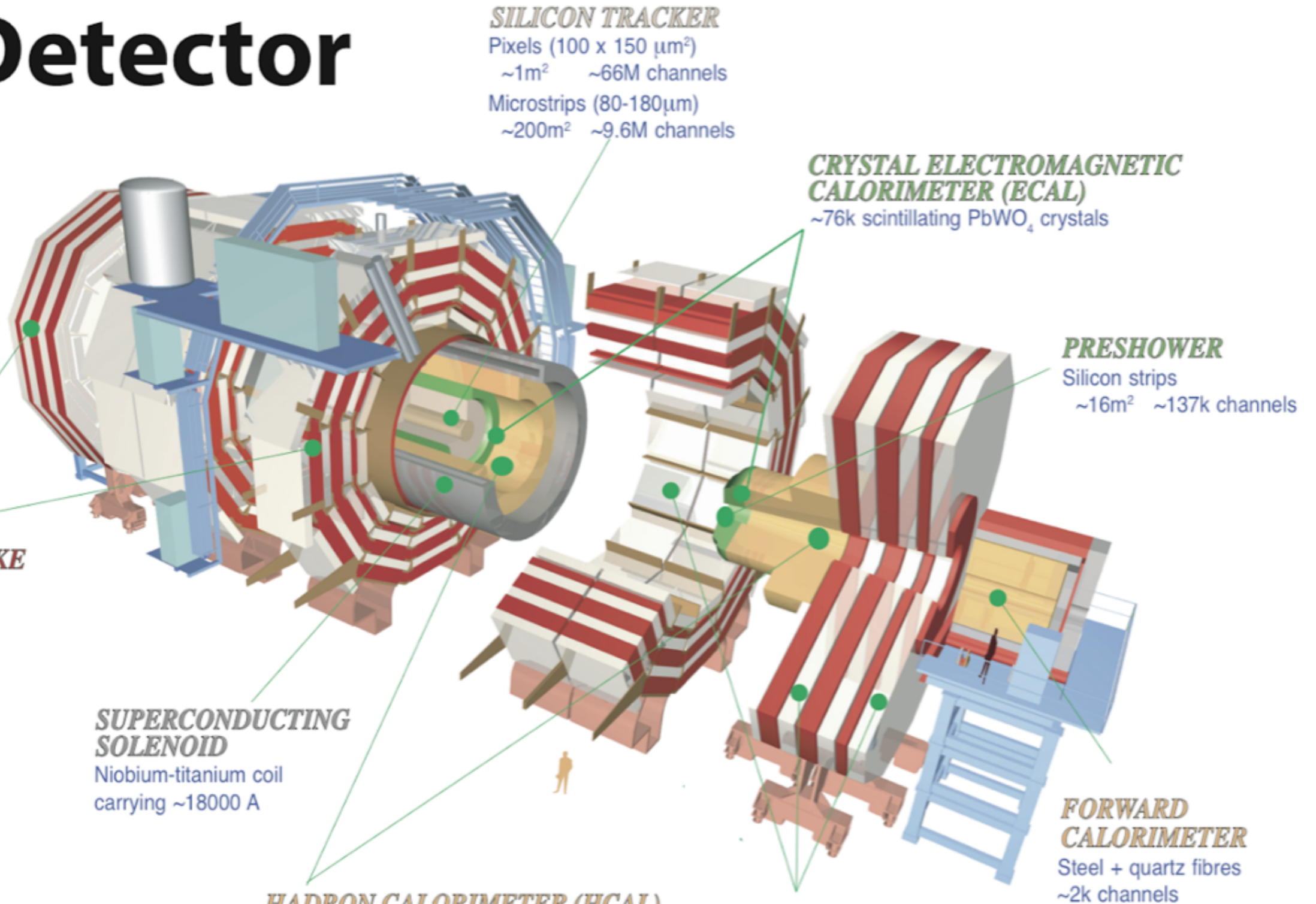
LHC: ATLAS





CMS Detector

Pixels
 Tracker
 ECAL
 HCAL
 Solenoid
 Steel Yoke
 Muons



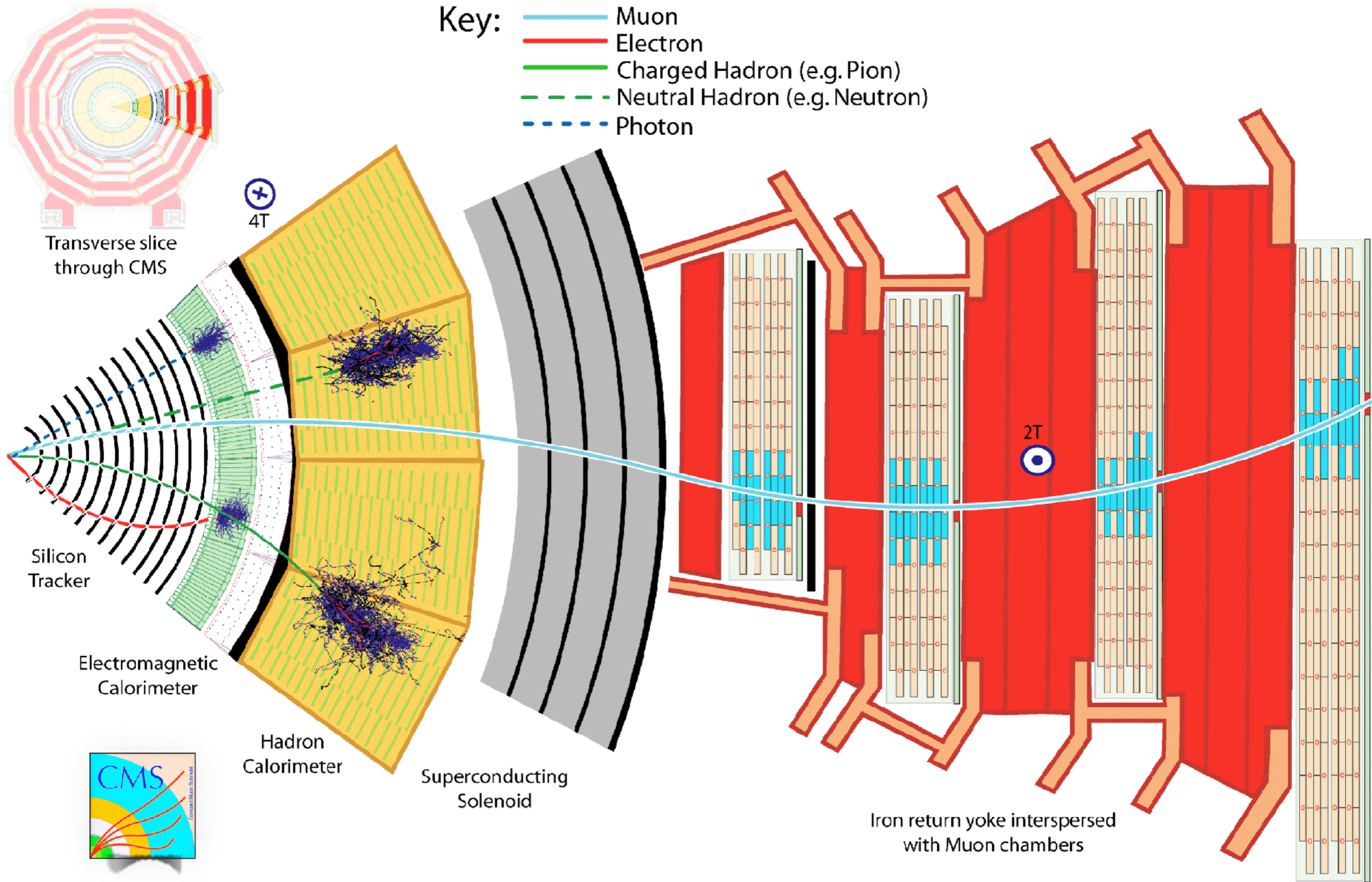
Total weight : 14000 tonnes
Overall diameter : 15.0 m
Overall length : 28.7 m
Magnetic field : 3.8 T



LHC: CMS

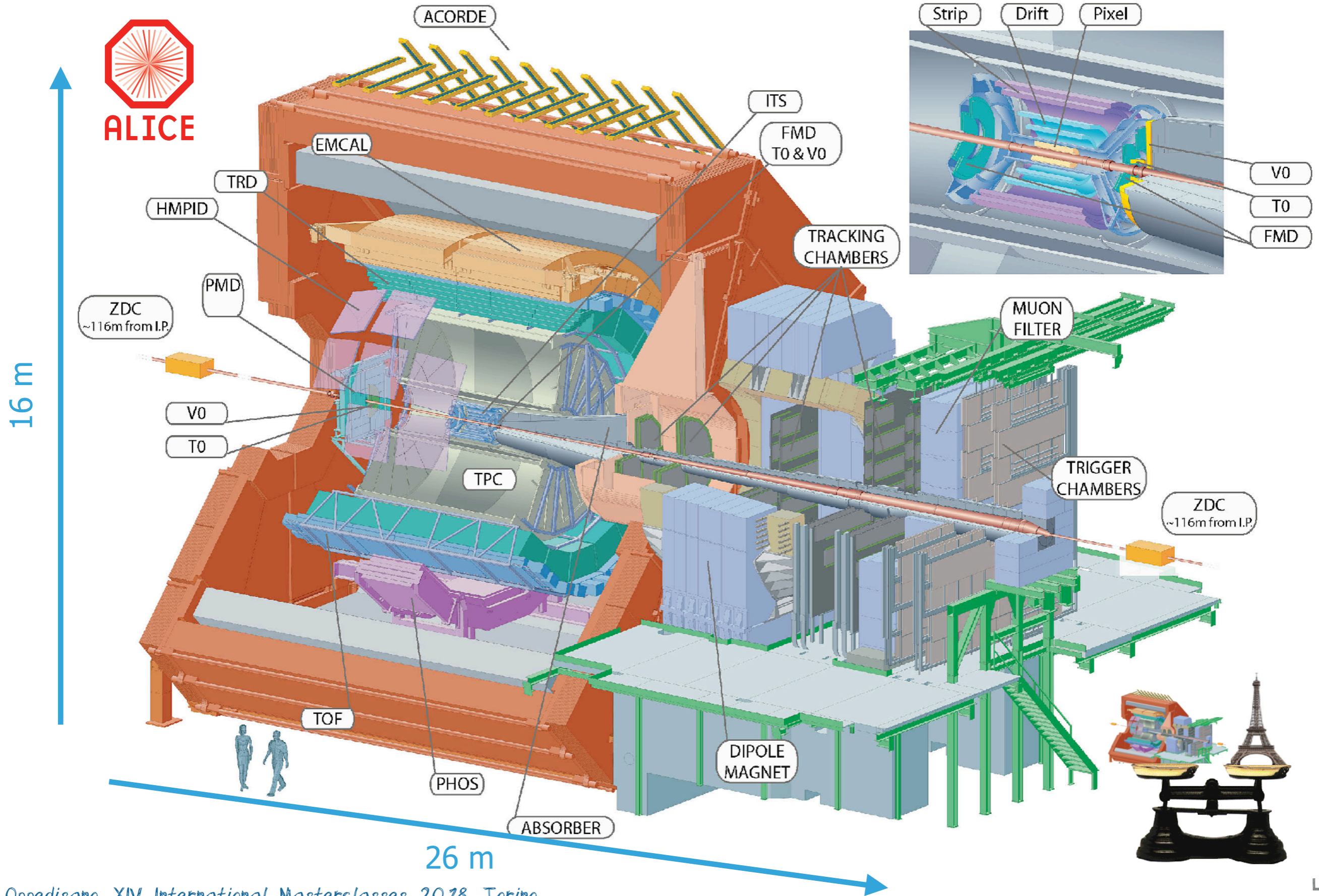


- Key:
- Muon
 - Electron
 - Charged Hadron (e.g. Pion)
 - - - Neutral Hadron (e.g. Neutron)
 - - - Photon





LHC: ALICE





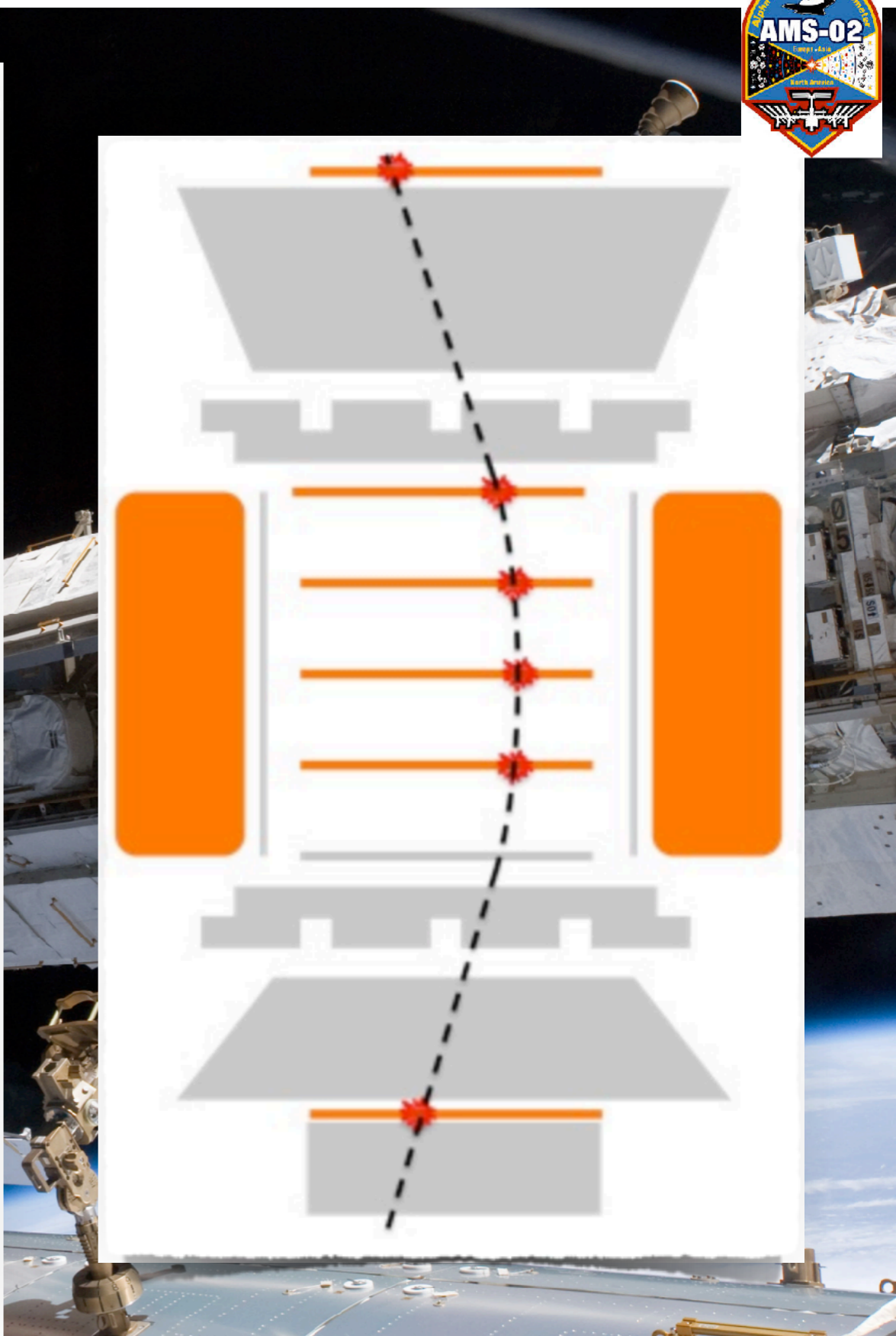
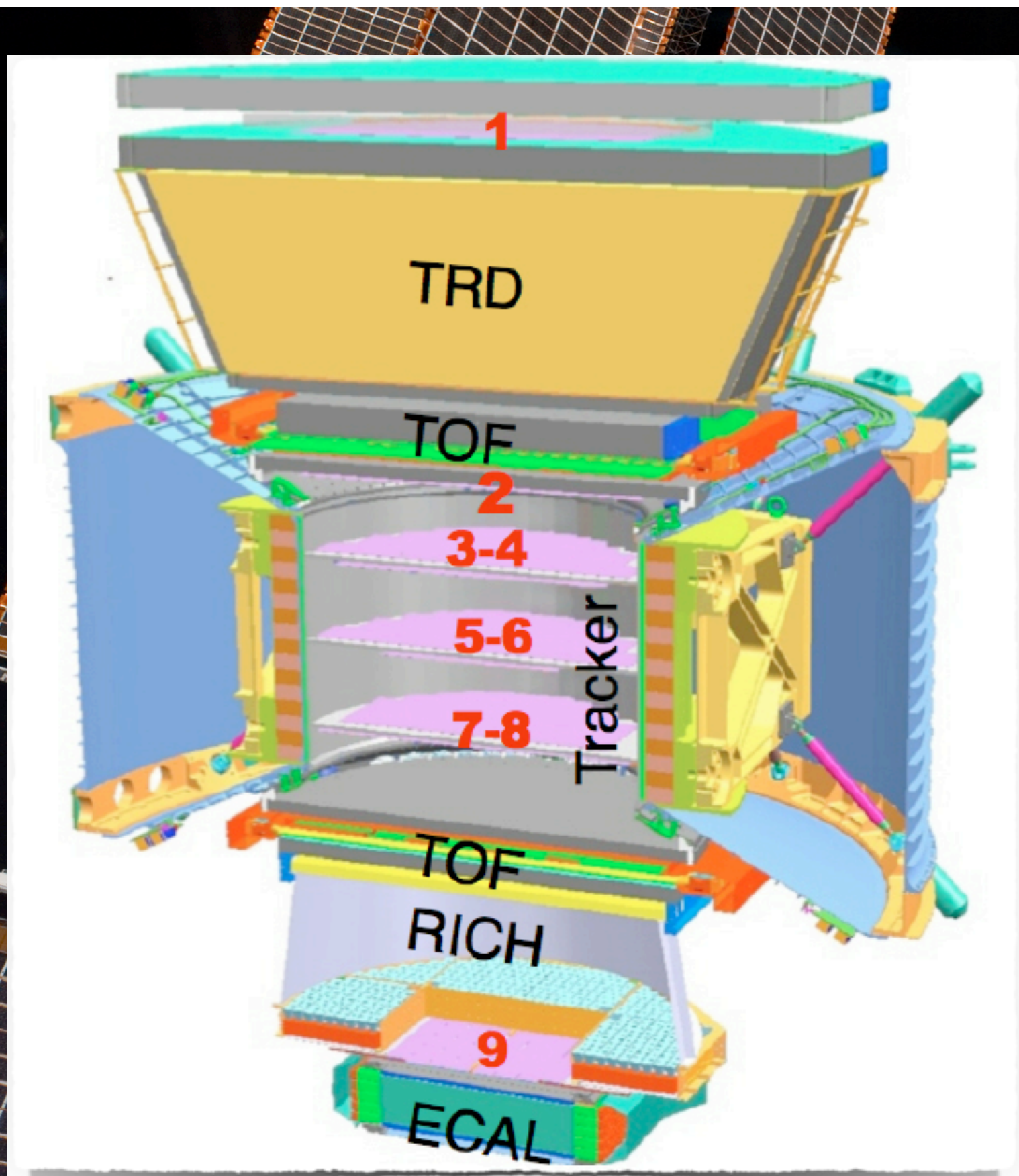
NELLO SPAZIO...

INFN





NELLO SPAZIO...

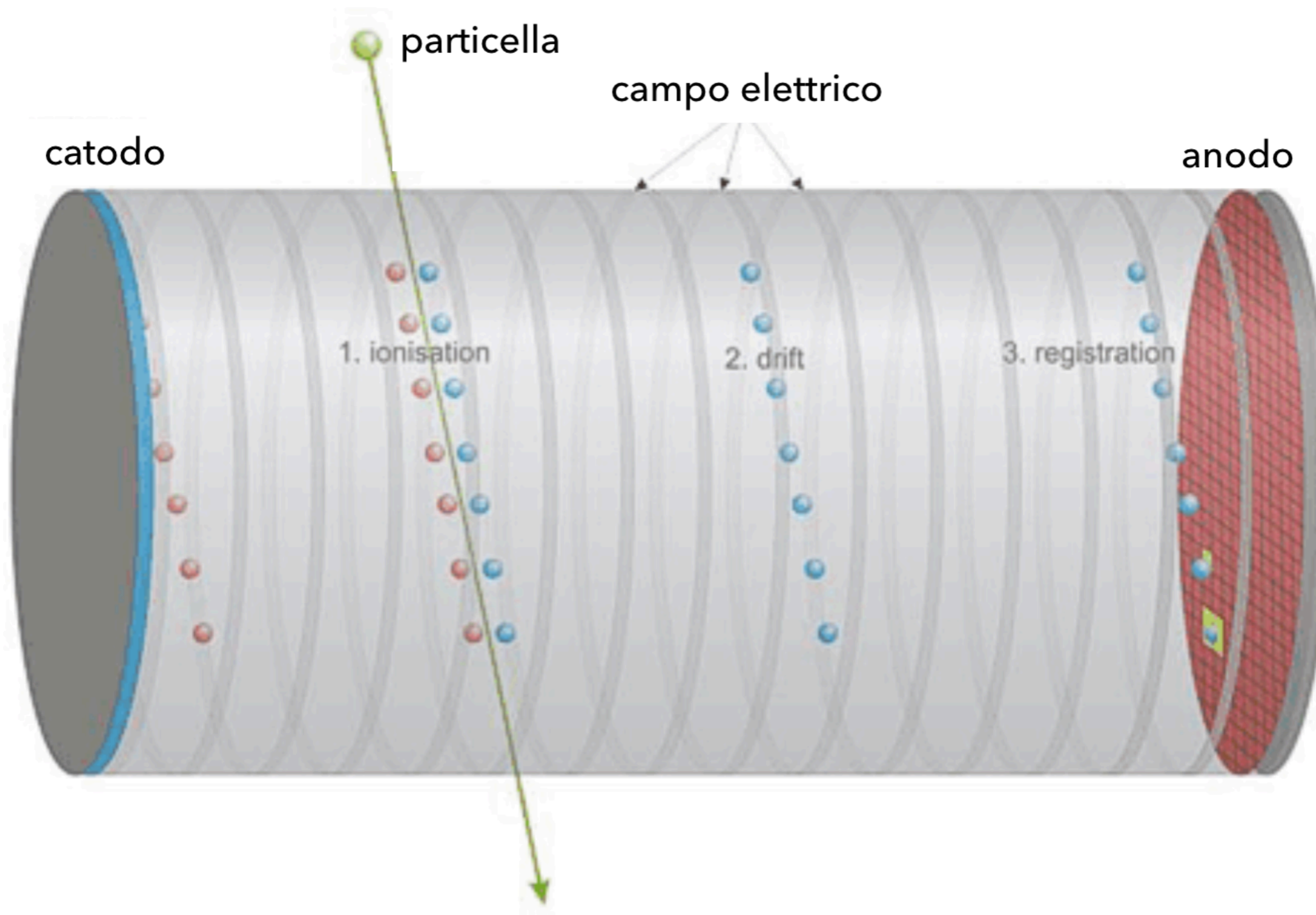




DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA

PARTICELLA INTERAGISCE CON MATERIA

PROCESSO FISICO

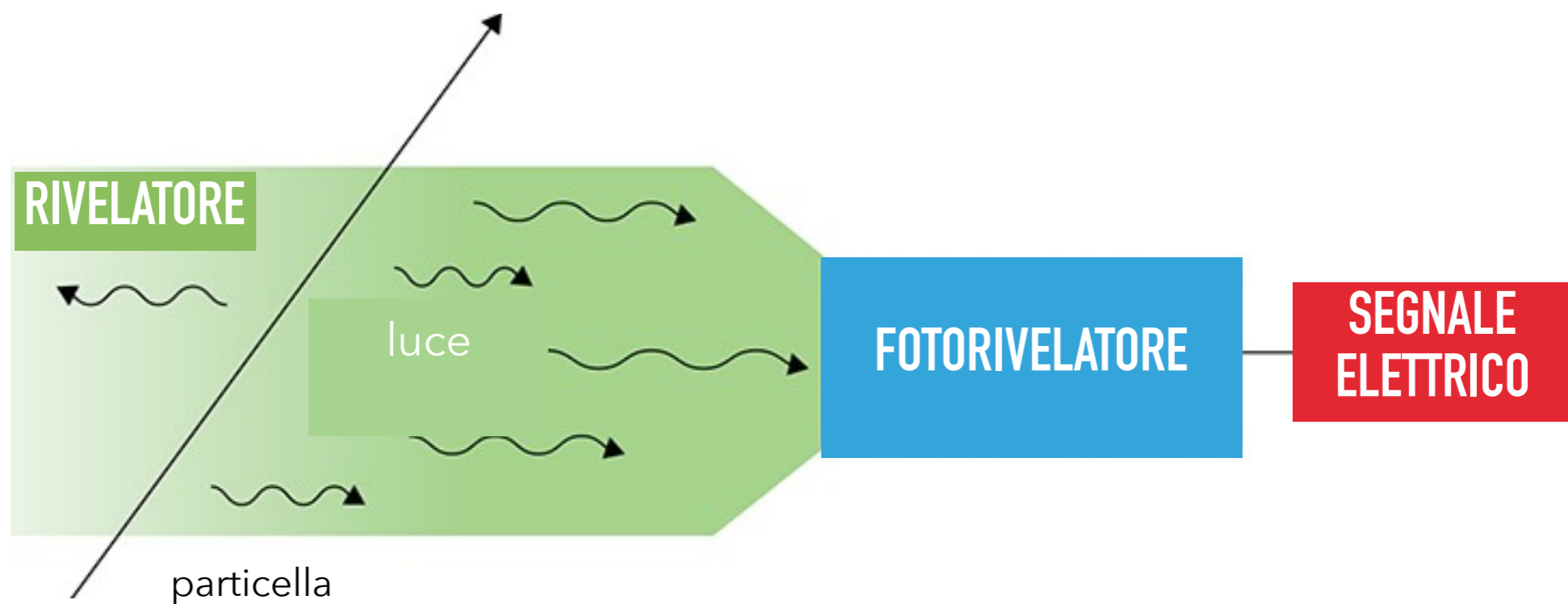




SVILUPPO E RACCOLTA DEL SEGNALE (CARICA, LUCE)

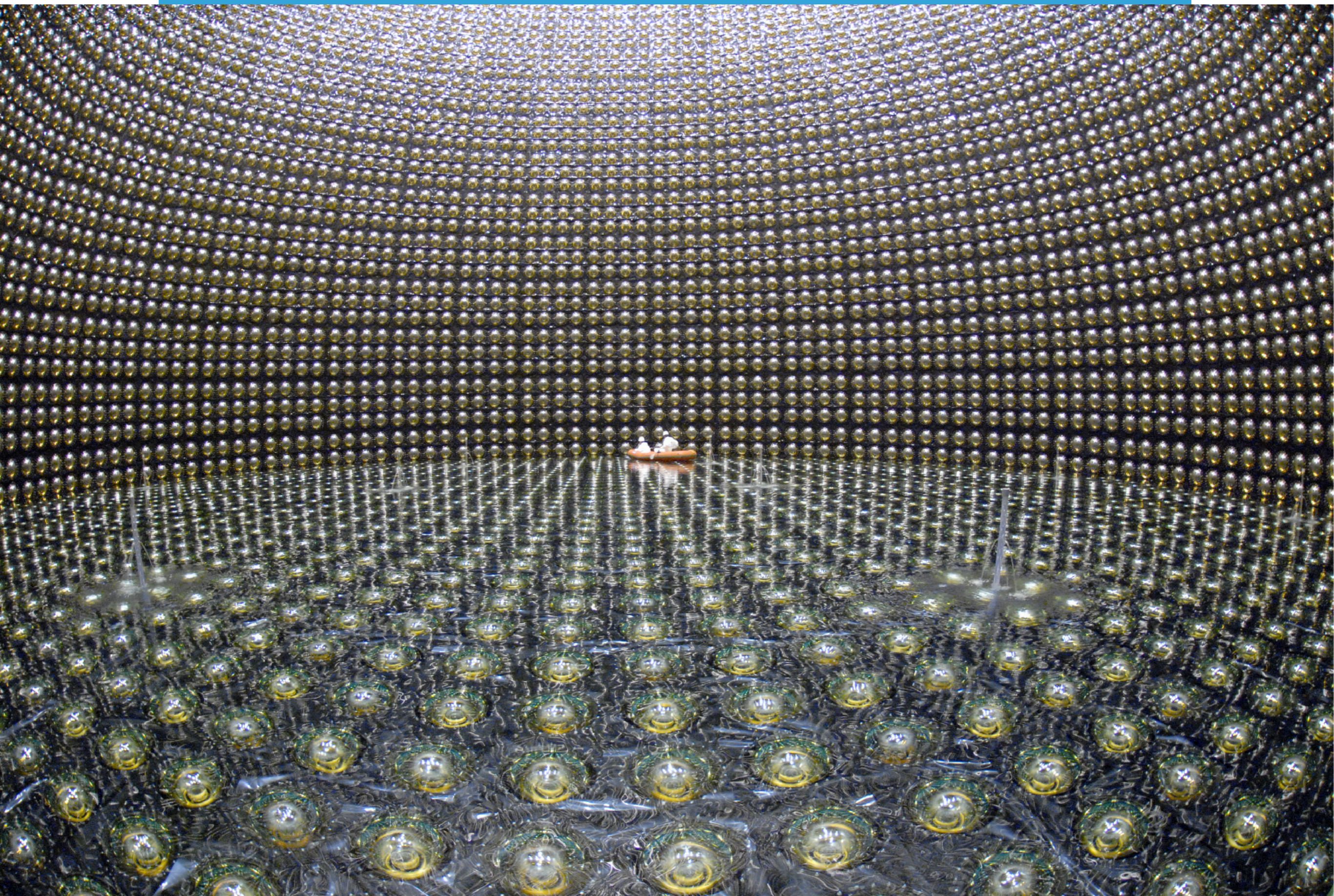
Conversione del segnale lasciato dalla particella nel rivelatore (traccia, energia) in segnale elettrico (carica elettrica, segnale luminoso)

Raccolta del segnale elettrico





DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA





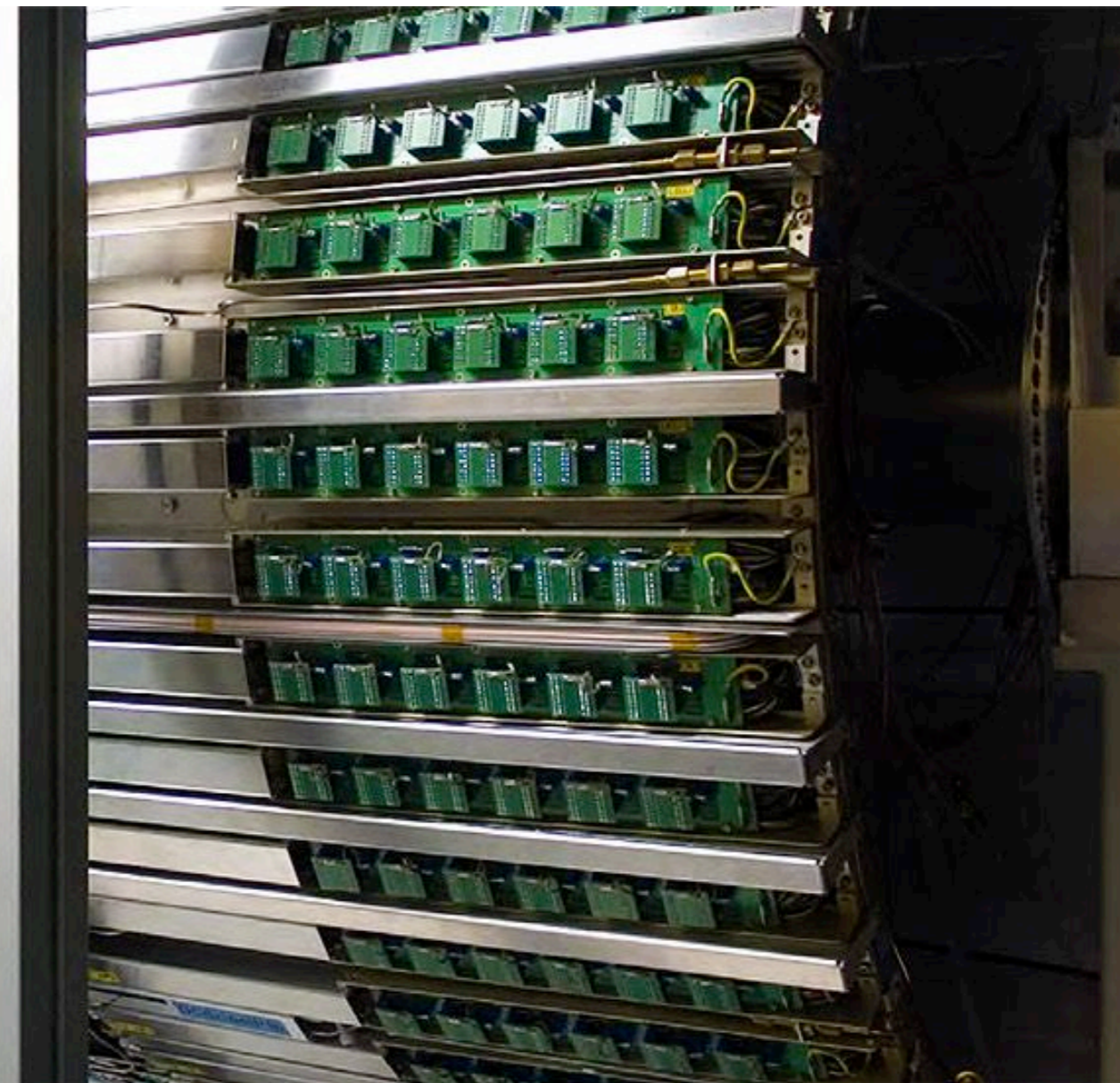
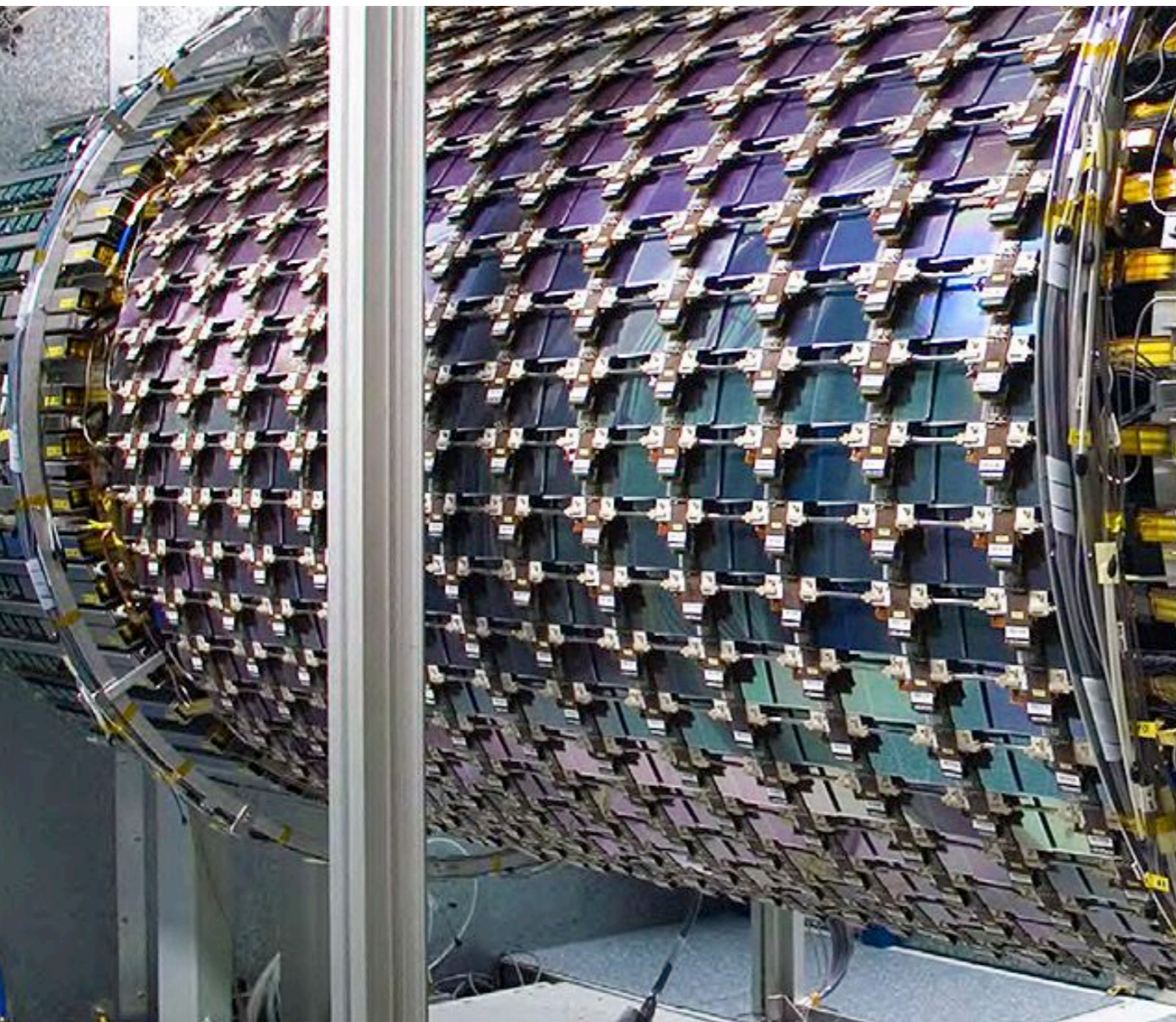
DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA



ELABORAZIONE SEGNALE

ELETTRONICA

Amplificazione del segnale, calibrazione, digitizzazione





DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA



RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE FISICO

SOFTWARE

Punti sugli strati dei tracciatori ▶ identificazione della particella: m , p , q ...

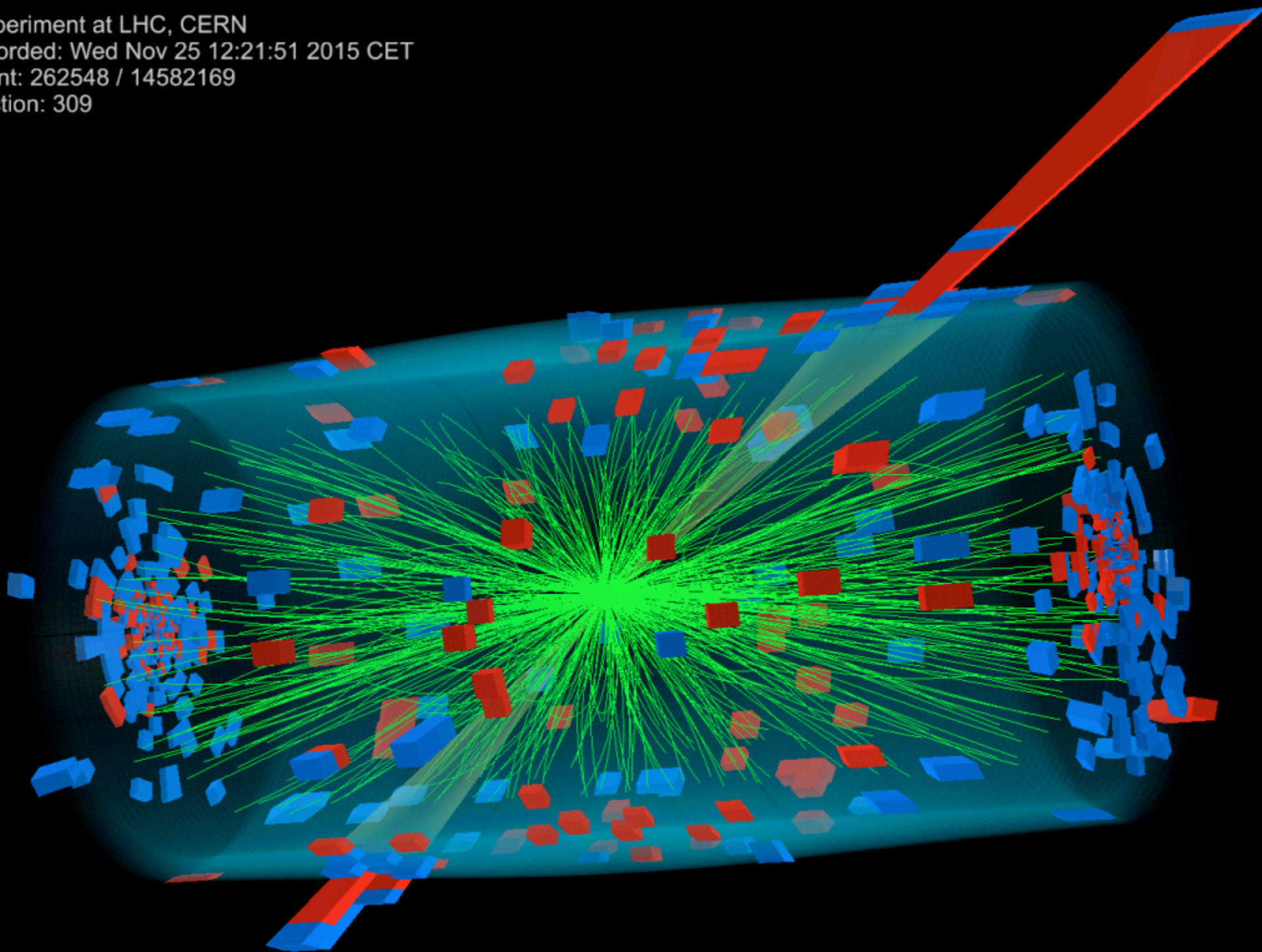
Quantità di carica e luce raccolte ▶ energia persa dalla particella



DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA

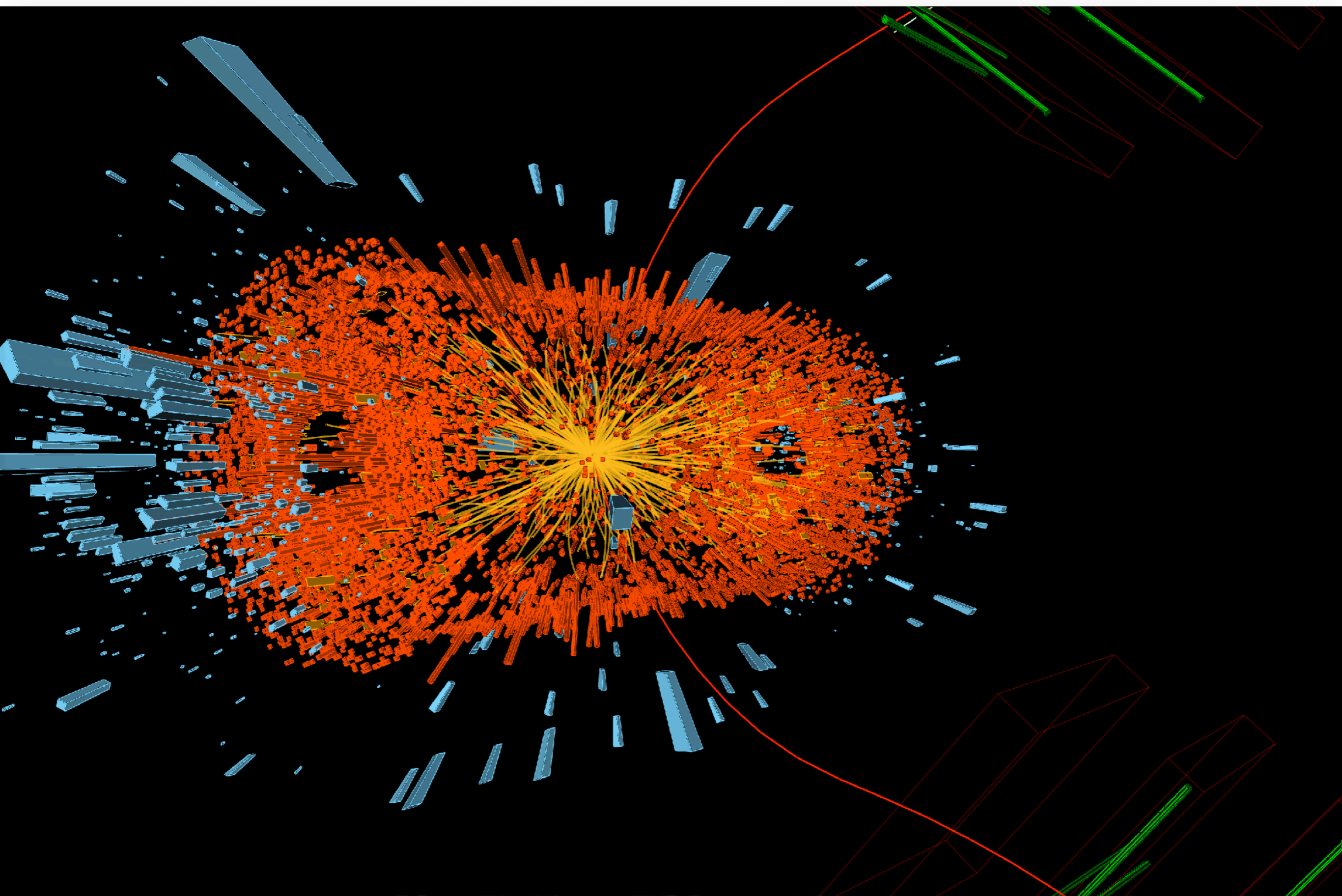


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Wed Nov 25 12:21:51 2015 CET
Run/Event: 262548 / 14582169
Lumi section: 309



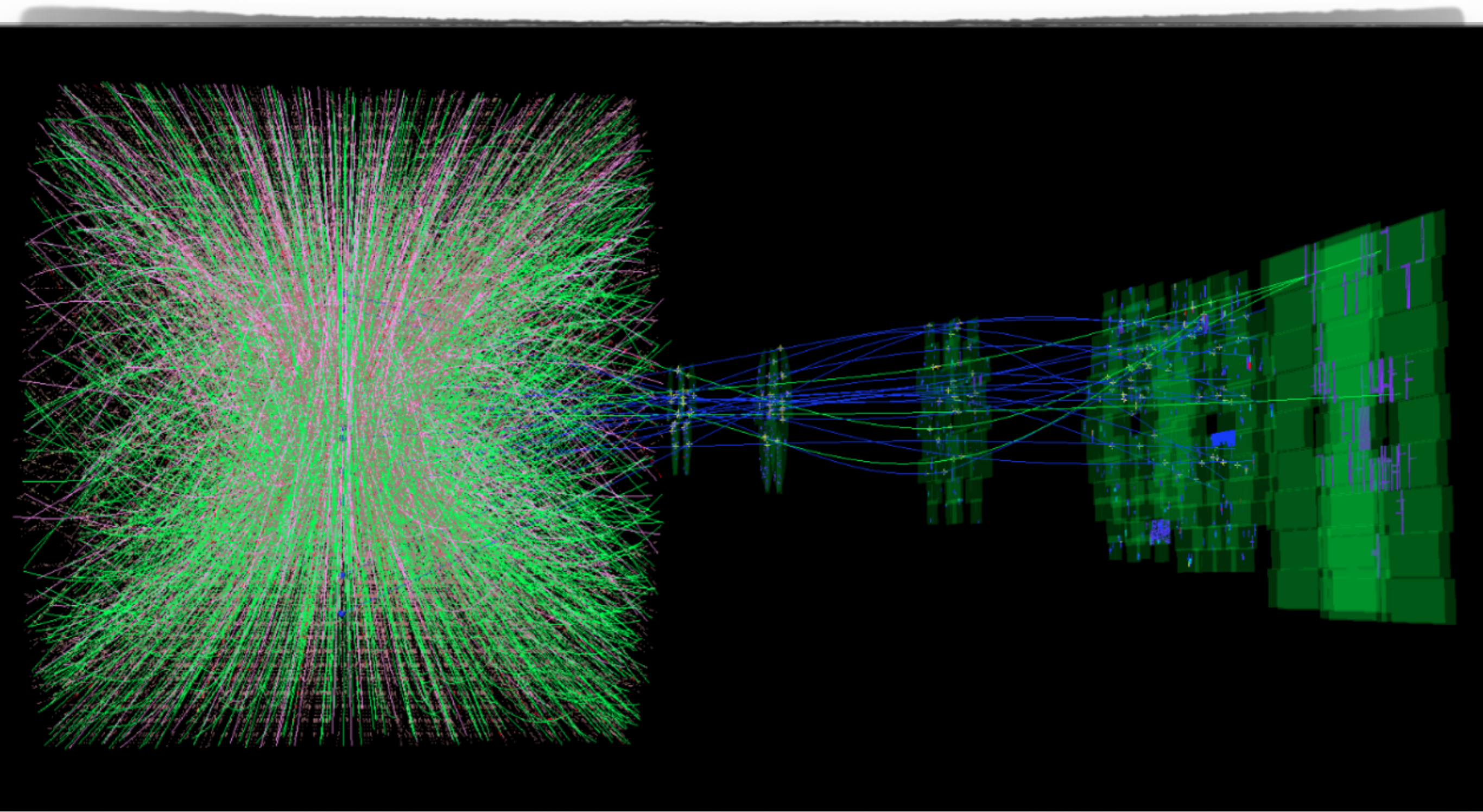


MUONI



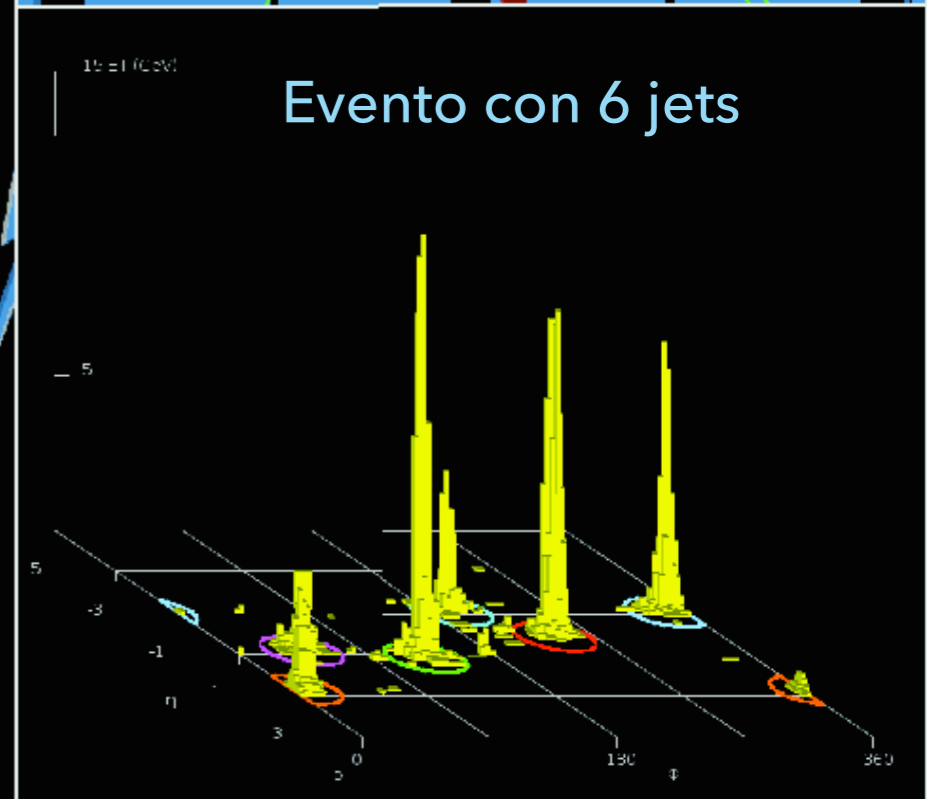
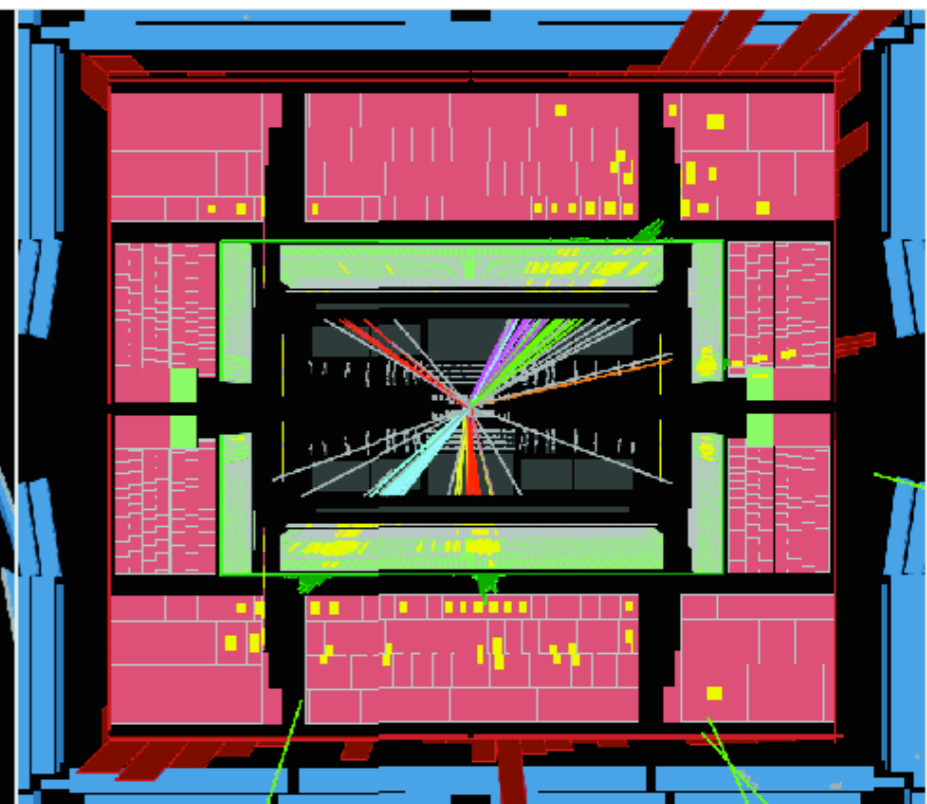
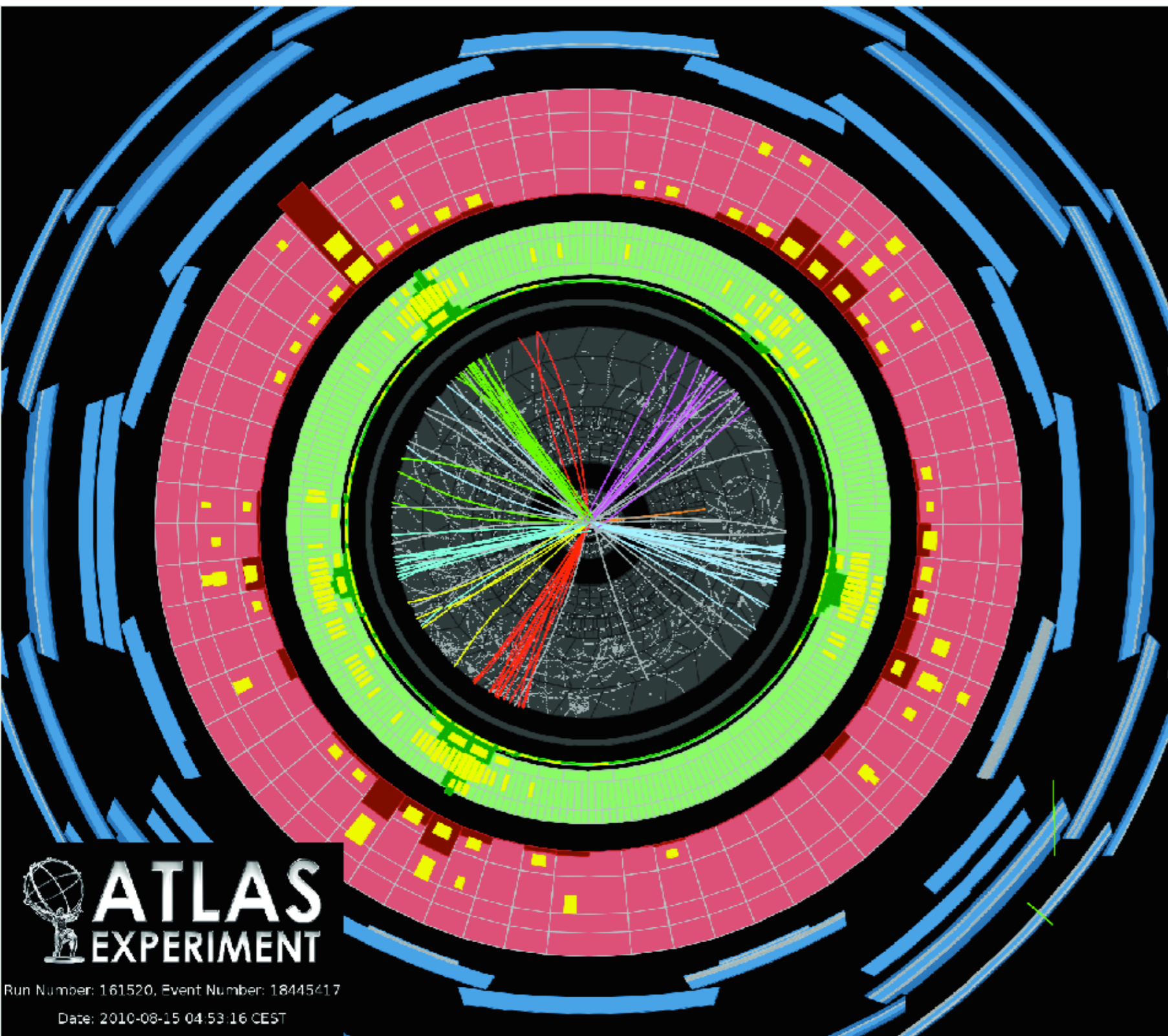


MUONI



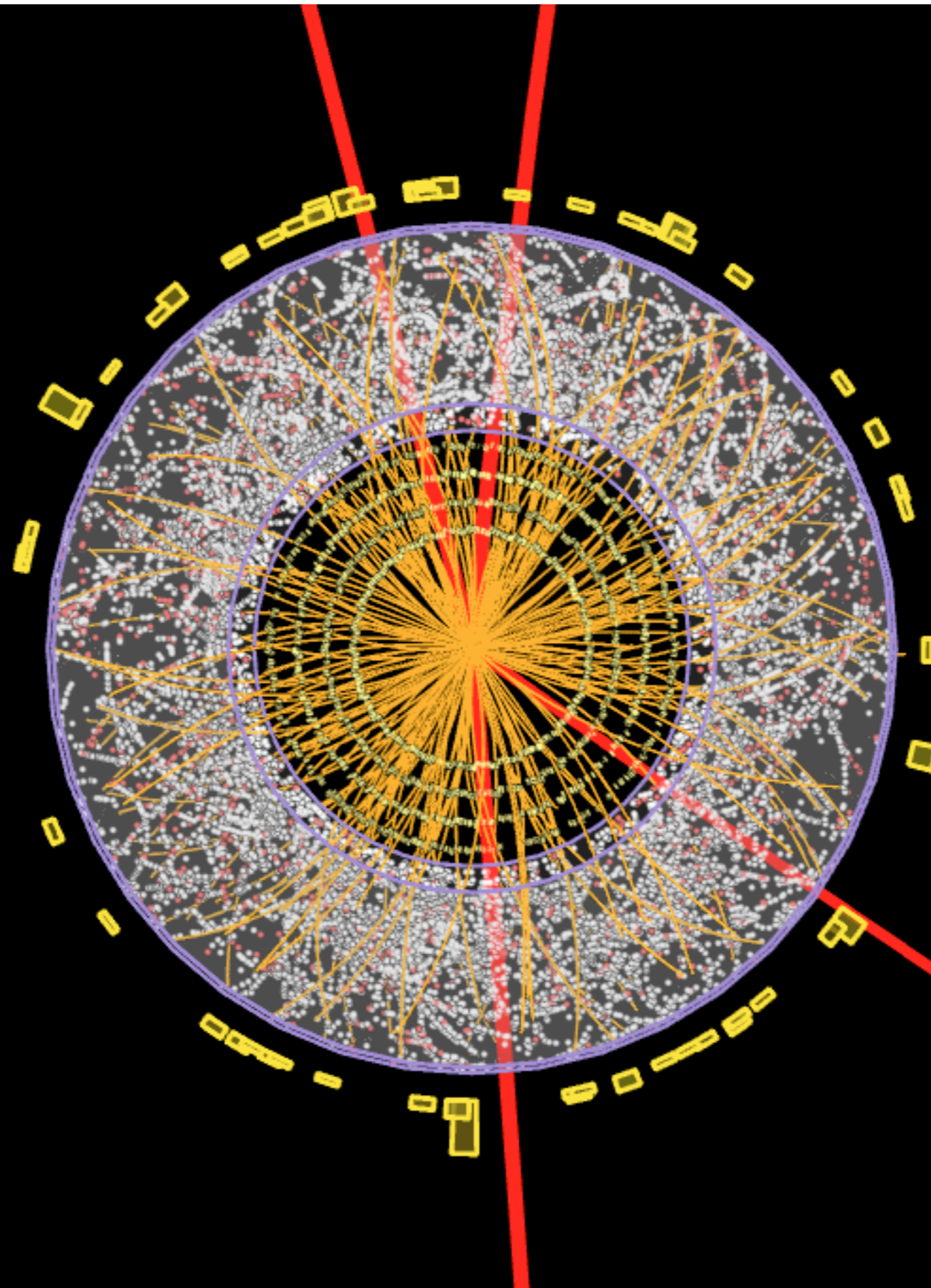


EVENTI RICOSTRUITI





EVENTI RICOSTRUITI



 **ATLAS**
EXPERIMENT

<http://atlas.ch>

Run: 204769

Event: 71902630

Date: 2012-06-10

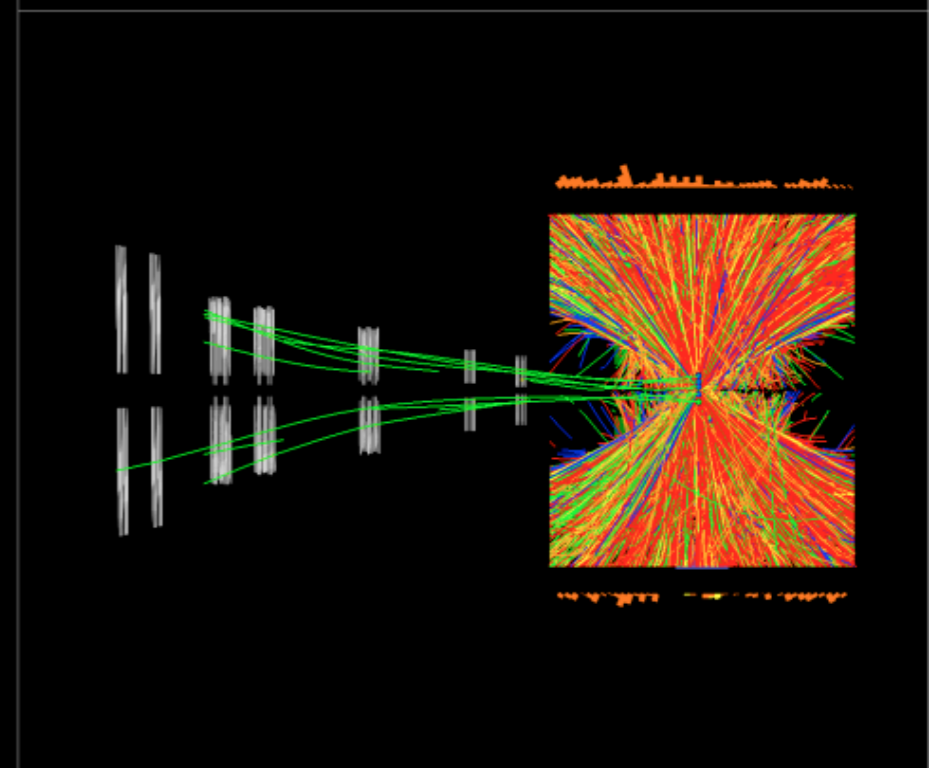
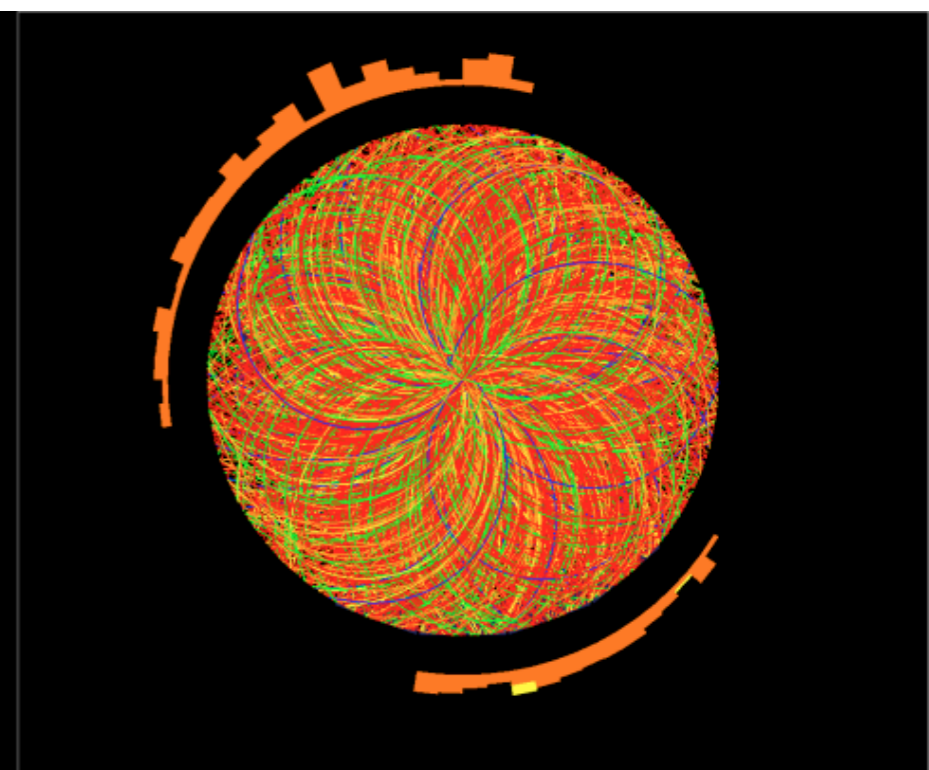
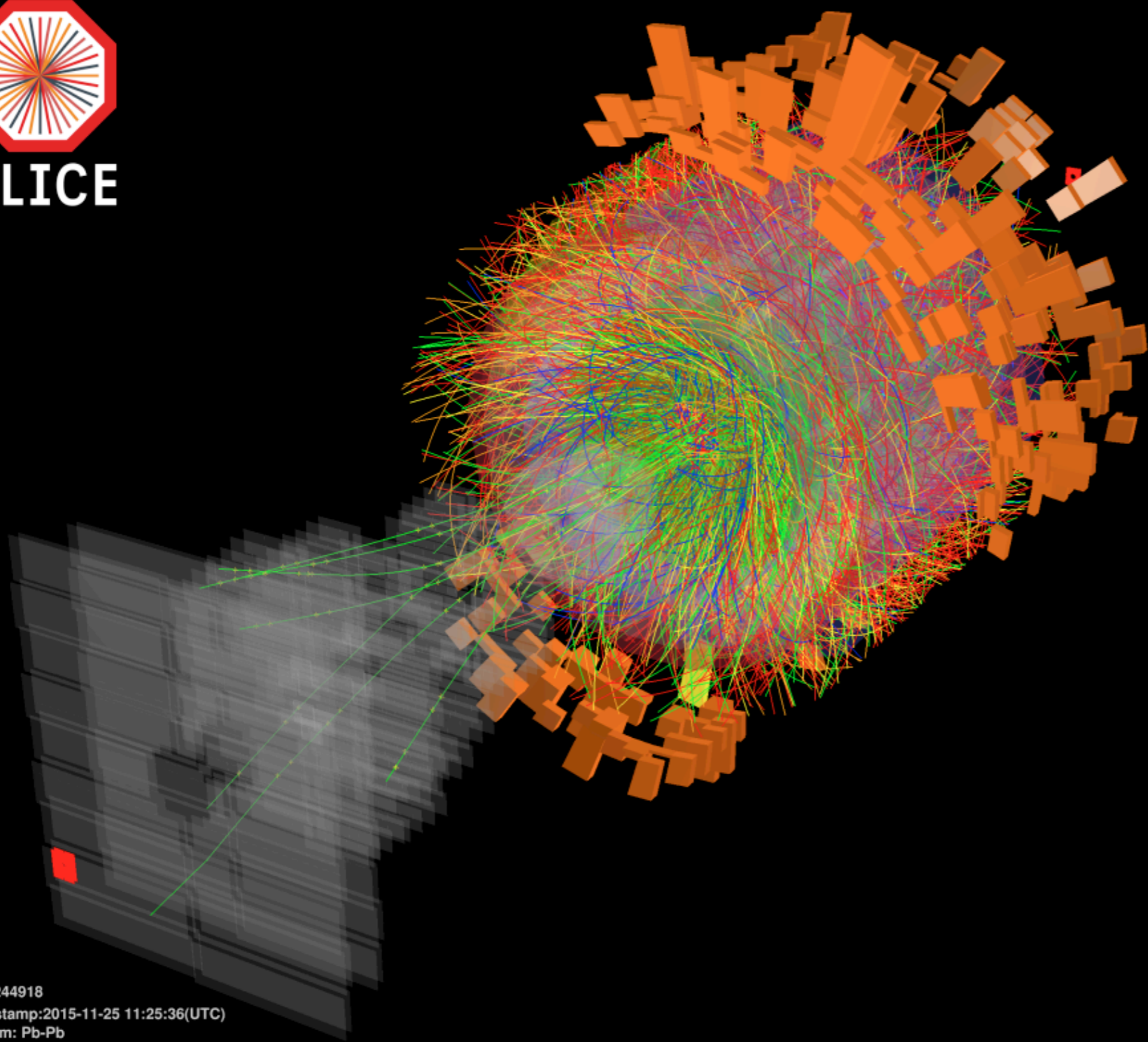
Time: 13:24:31 CEST



EVENTI RICOSTRUITI



ALICE



Run:244918
Timestamp:2015-11-25 11:25:36(UTC)
System: Pb-Pb
Energy: 5.02 TeV



ANALISI DEI DATI

Selezione degli eventi di interesse

- ❑ 40 milioni di "fotografie" (eventi) da circa 1 Mb al secondo
 - ALICE: 4 GB/s (Pb-Pb running)
 - ATLAS: 800 MB/s - 1 GB/s
 - CMS: 600 MB/s
 - LHCb: 750 MB/s

- ❑ prima riduzione "hardware" a livello di rivelatore 100 GB/s

- ❑ seconda riduzione "software" online 1 GB/s → 10 PB/anno
1.5 CD al secondo trasferiti al centro di calcolo del CERN!

- ❑ algoritmi per la RICOSTRUZIONE delle collisioni "interessanti"

- ❑ selezione degli eventi di interesse per ciascuna analisi
utilizzando opportuni algoritmi

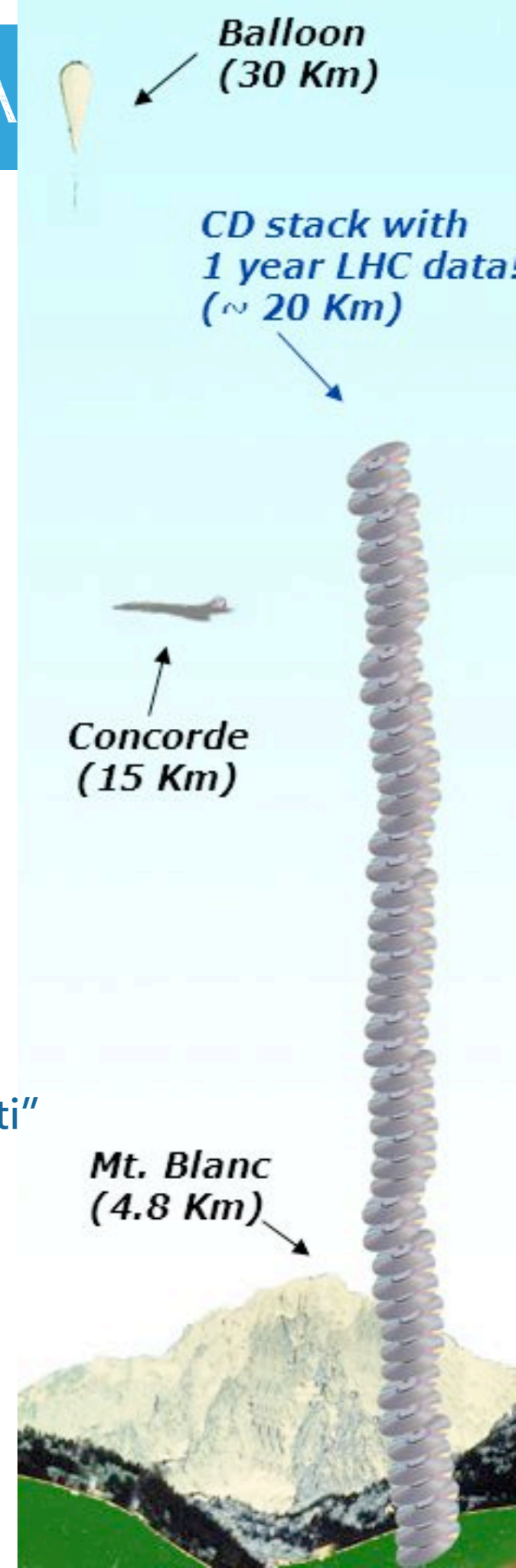


DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA

ANALISI DEI DATI

Selezione degli eventi di interesse

- ❑ 40 milioni di "fotografie" (eventi) da circa 1 Mb al secondo
 - ALICE: 4 GB/s (Pb-Pb running)
 - ATLAS: 800 MB/s - 1 GB/s
 - CMS: 600 MB/s
 - LHCb: 750 MB/s
- ❑ prima riduzione "hardware" a livello di rivelatore 100 GB/s
- ❑ seconda riduzione "software" online 1 GB/s → 10 PB/anno
1.5 CD al secondo trasferiti al centro di calcolo del CERN!
- ❑ algoritmi per la RICOSTRUZIONE delle collisioni "interessanti"
- ❑ selezione degli eventi di interesse per ciascuna analisi utilizzando opportuni algoritmi





CALCOLO



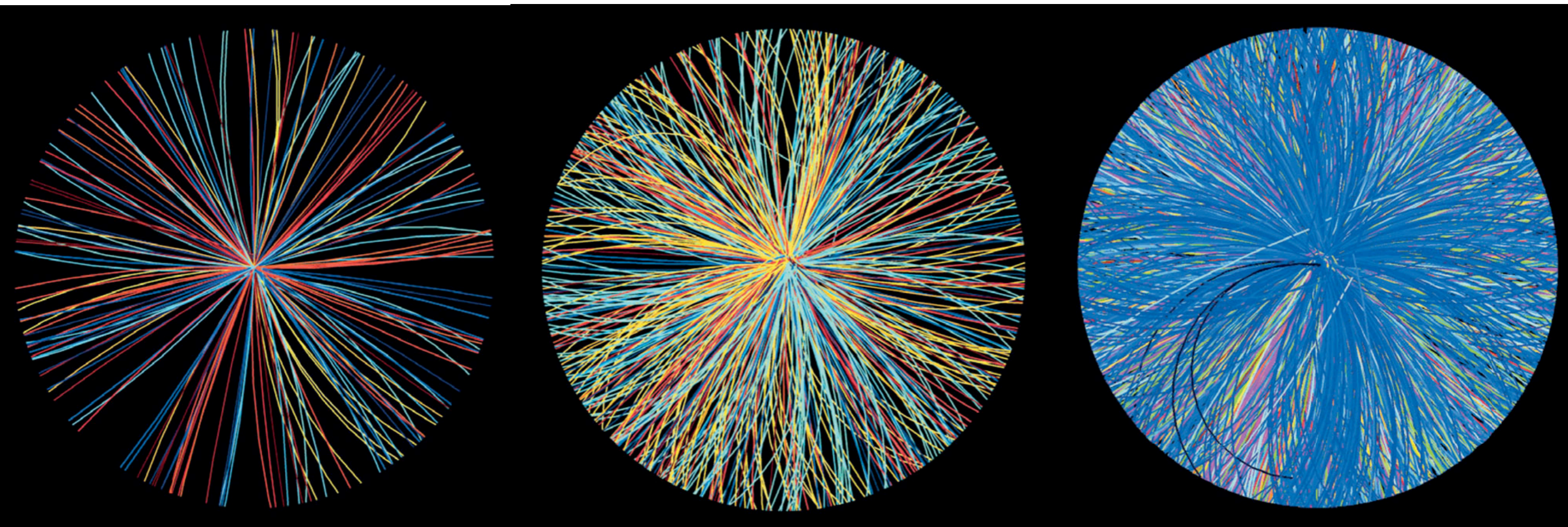


ANALISI DEI DATI

Selezione degli eventi di interesse

Eventi caratterizzati da diversi parametri delle grandezze misurabili

▶ catalogazione degli eventi in base alle loro proprietà

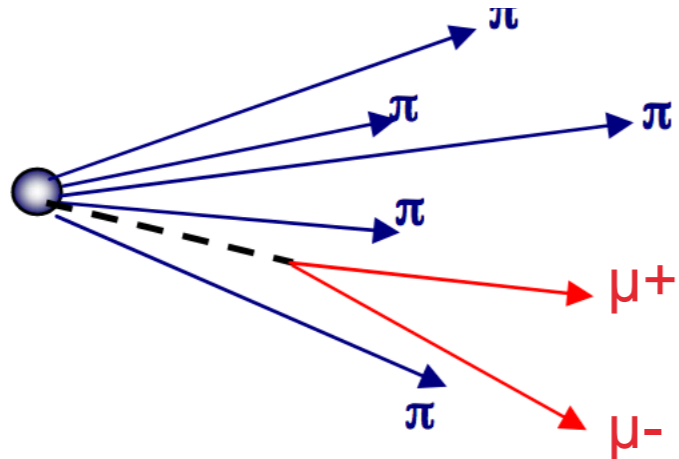




MASSA INVARIANTE

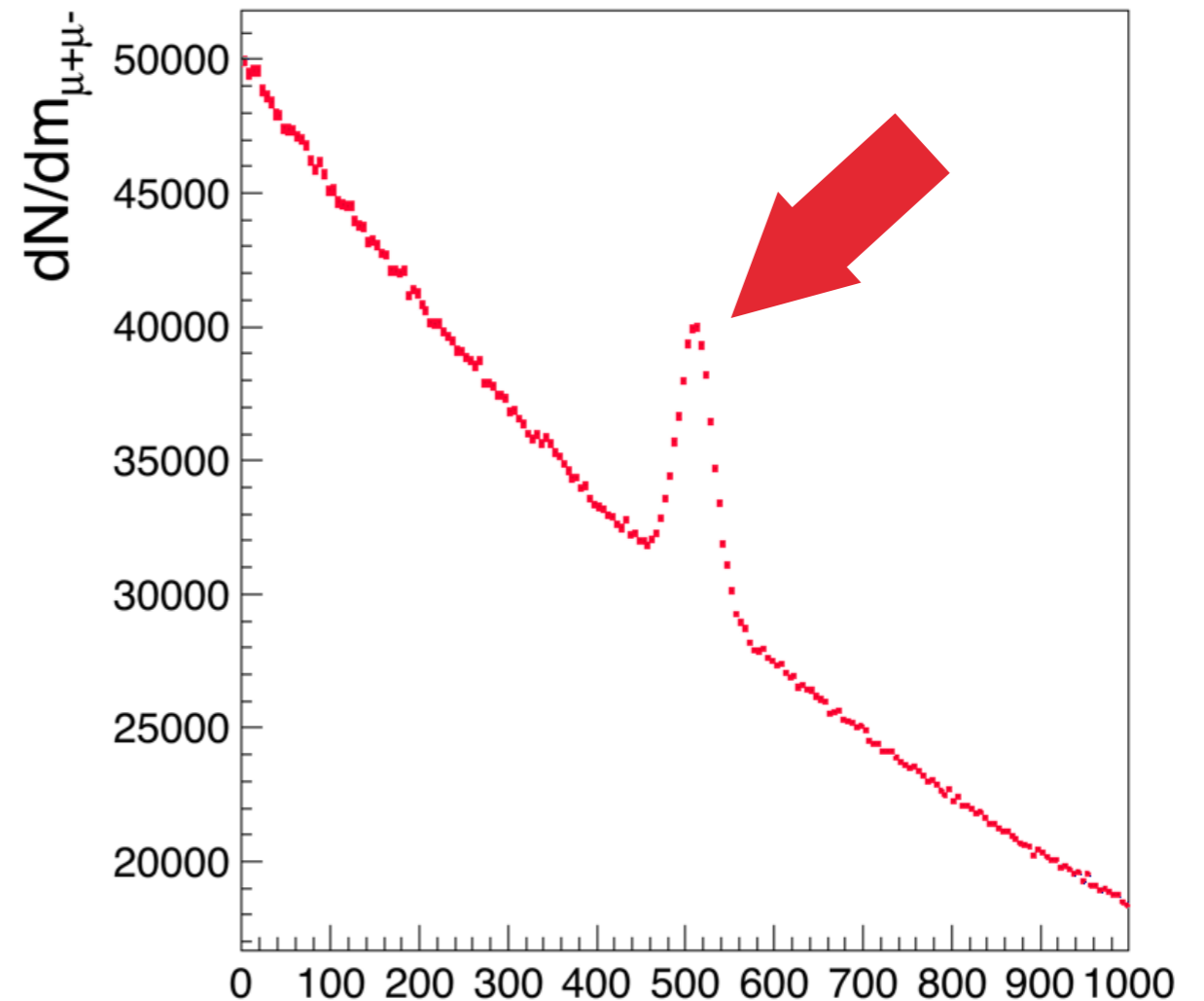
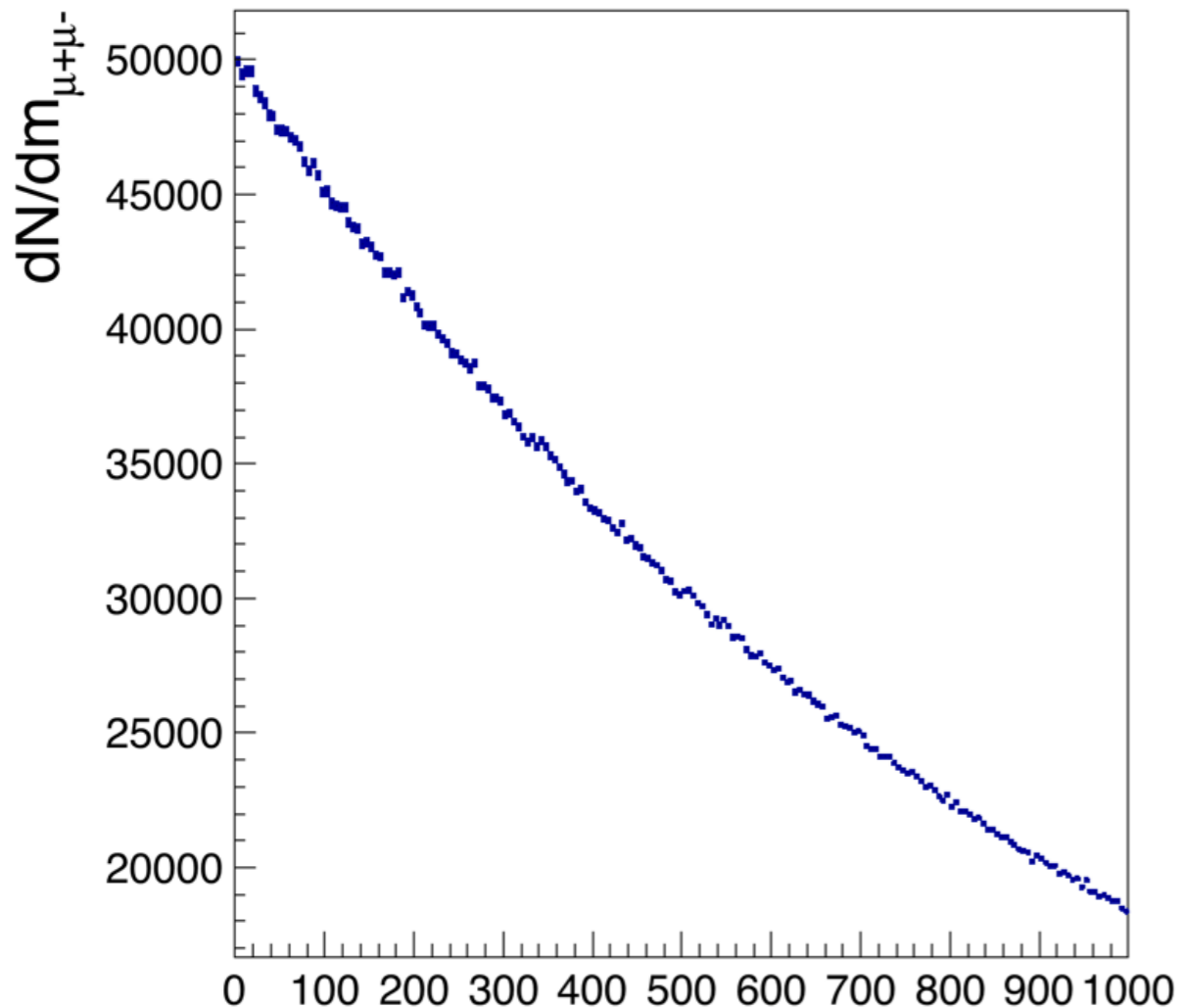


Massa invariante \blacktriangleright quantità conservata



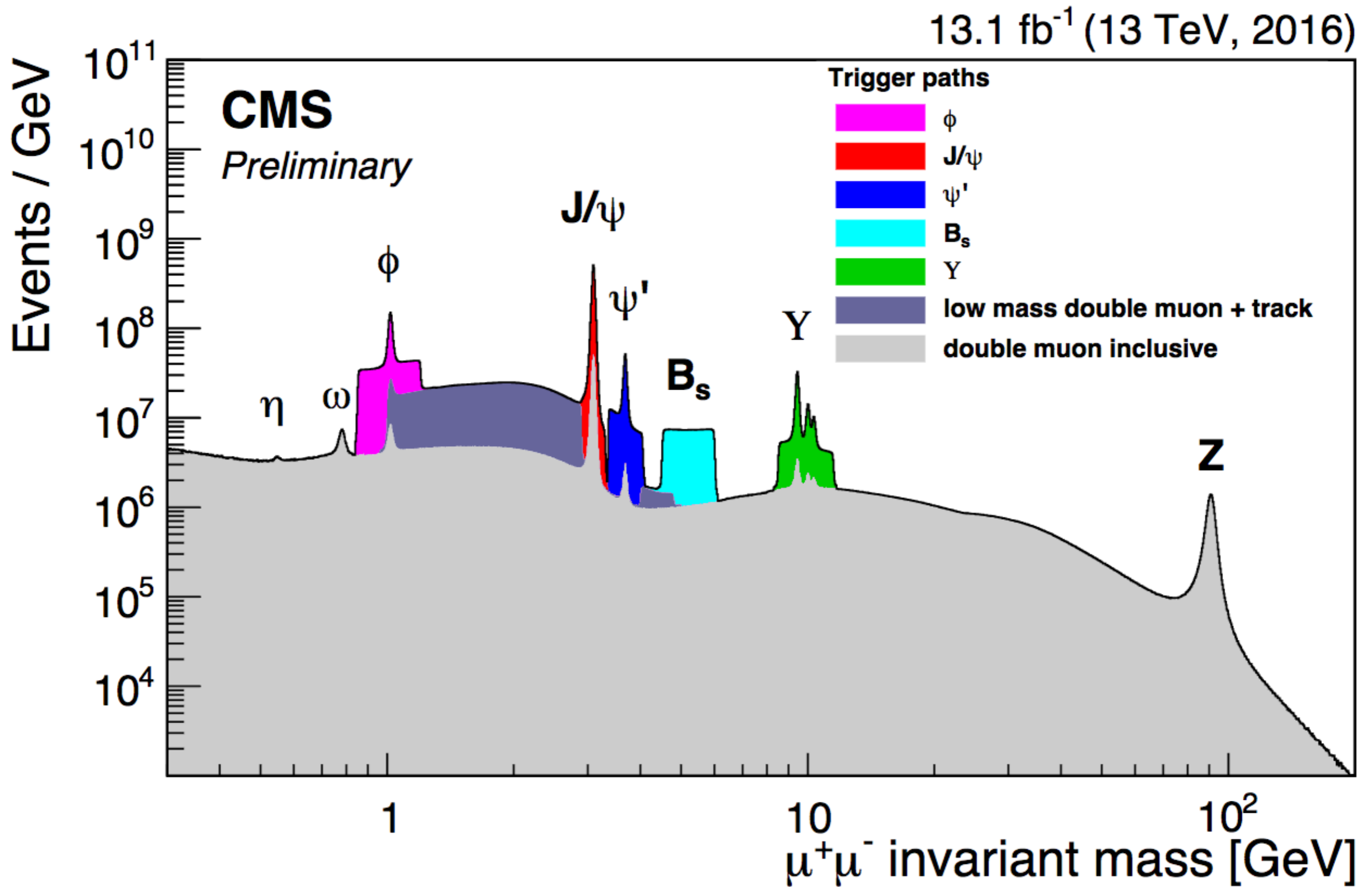
$$m_X = m_{\mu^+\mu^-} = (E_{\mu^+} + E_{\mu^-})^2 - (\vec{p}_{\mu^+} + \vec{p}_{\mu^-})^2$$

massa X = massa invariante prodotti decadimento





MASSA INVARIANTE





DAL SEGNALE ALLA GRANDEZZA FISICA



ANALISI DEI DATI

Risultati, pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, scoperte!



ANALISI DEI DATI

Risultati, pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, scoperte!

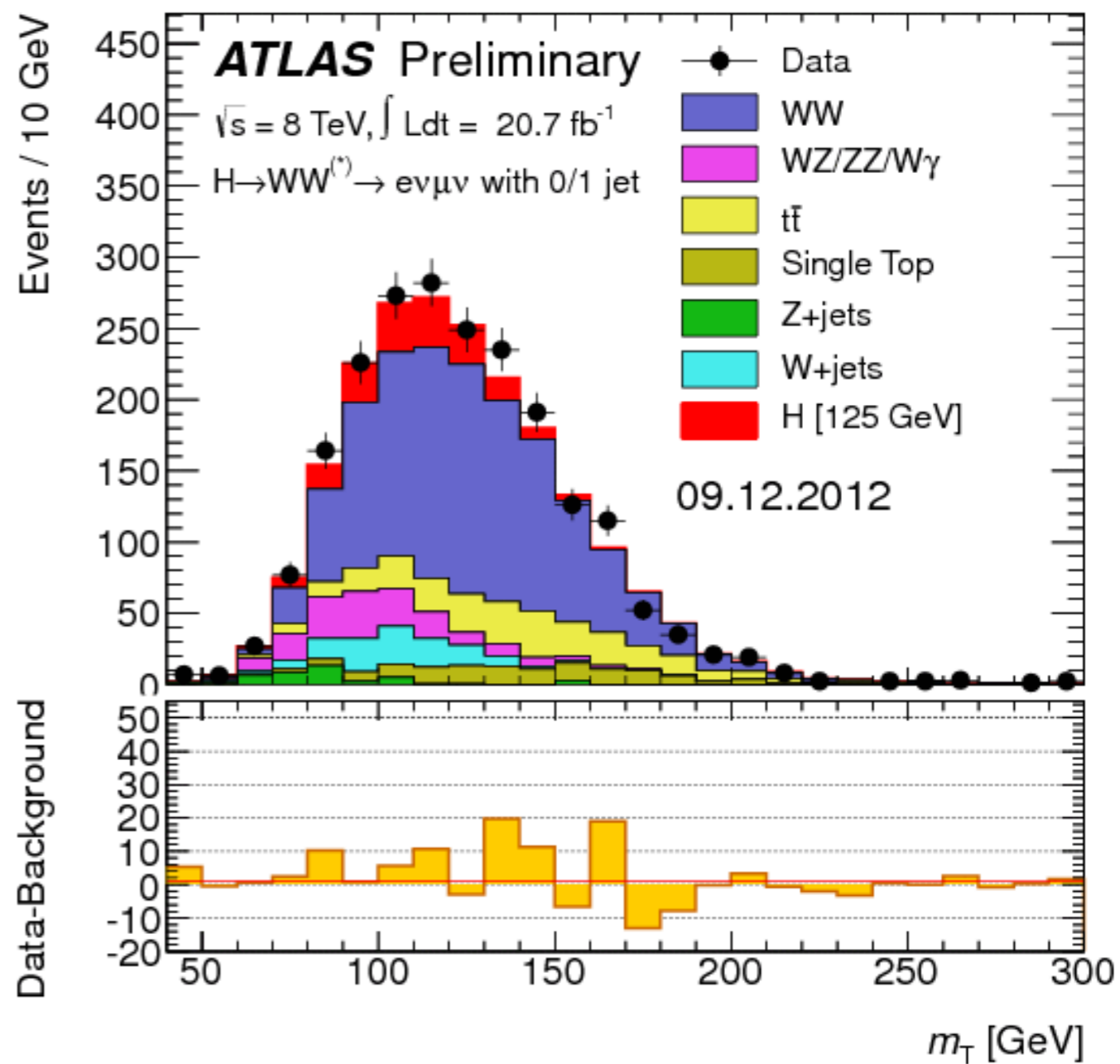
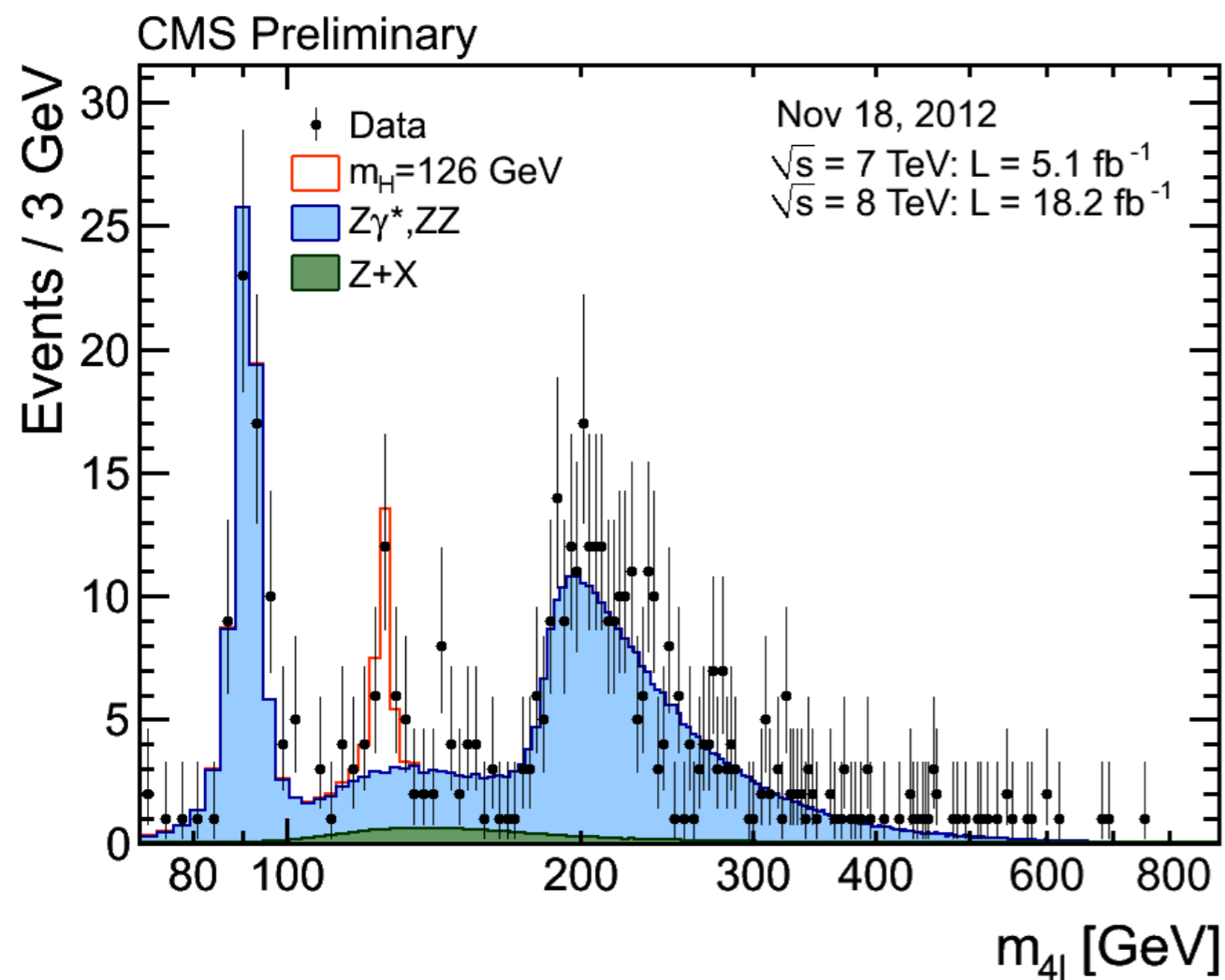
Ci sono soltanto due possibili conclusioni: se il risultato conferma le ipotesi, allora hai appena fatto una misura; se il risultato è contrario alle ipotesi, allora hai fatto una scoperta.

Enrico Fermi



ANALISI DEI DATI

Risultati, pubblicazioni su riviste scientifiche internazionali, scoperte!





opendata
CERN

<http://opendata.cern.ch/>

ABOUT SEARCH EDUCATION RESEARCH

Education

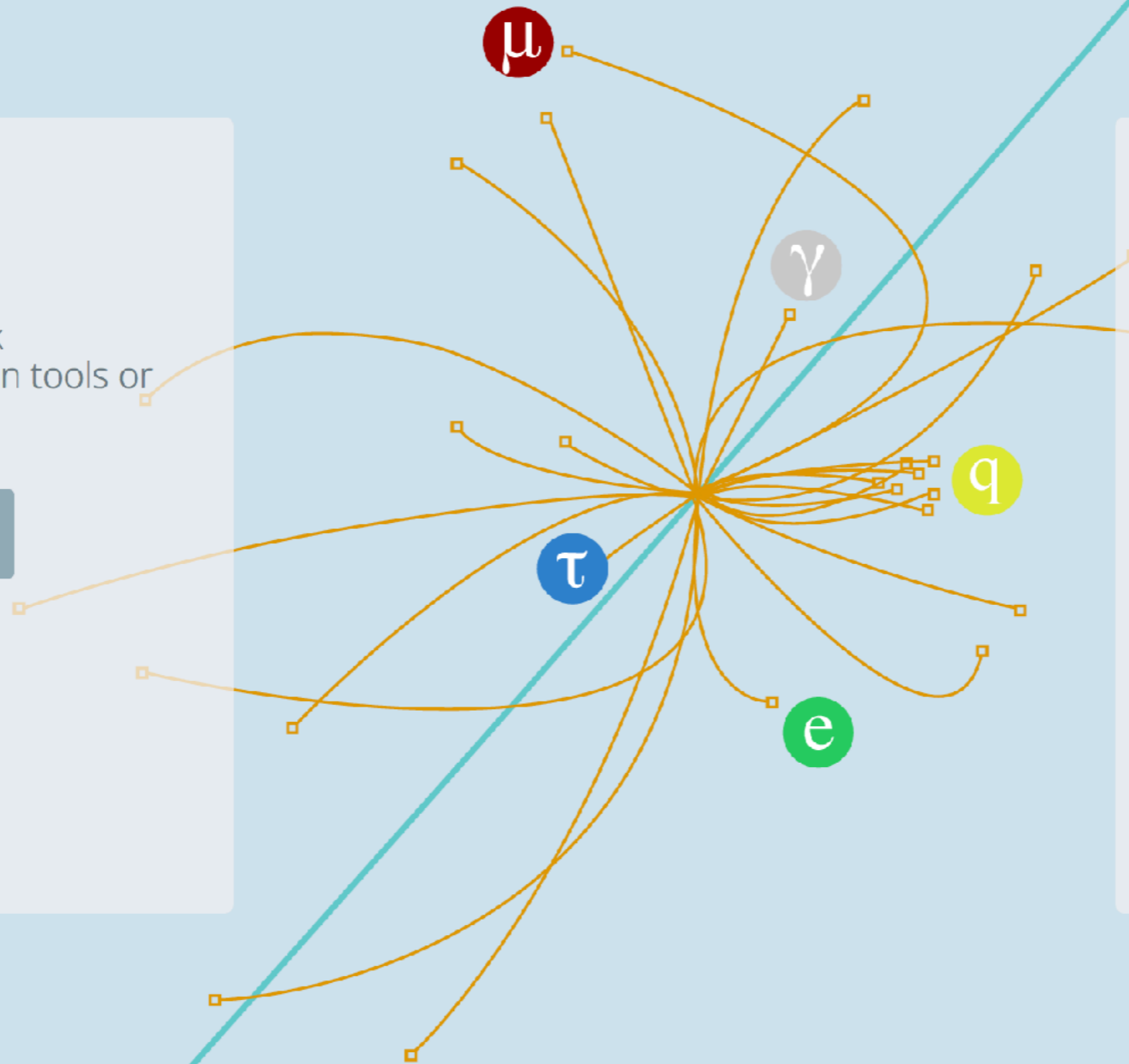
Visualise events, check reconstructed data, run tools or build your own!

Start learning

Research

Get the genuine working environments, virtual machines and datasets to start your research

Start analysing





300.000 ACCELERATORI





300.000 ACCELERATORI

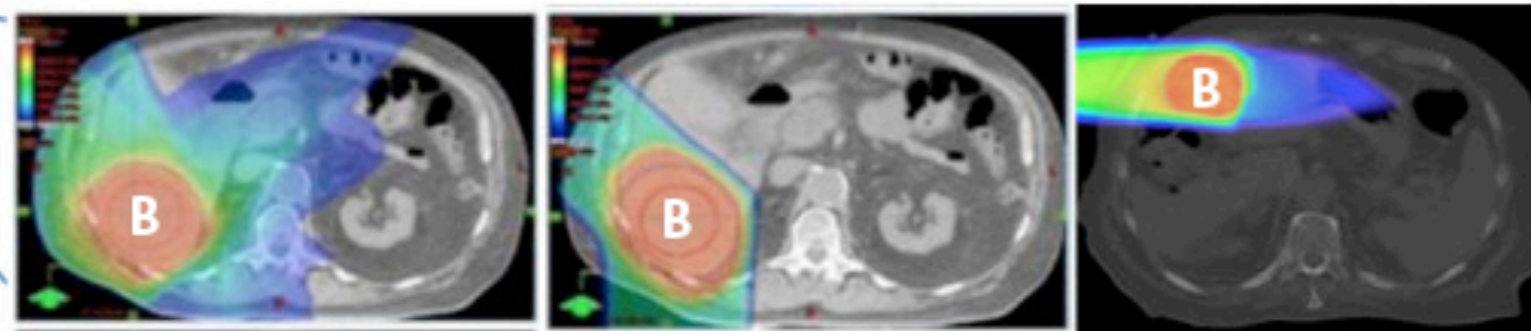
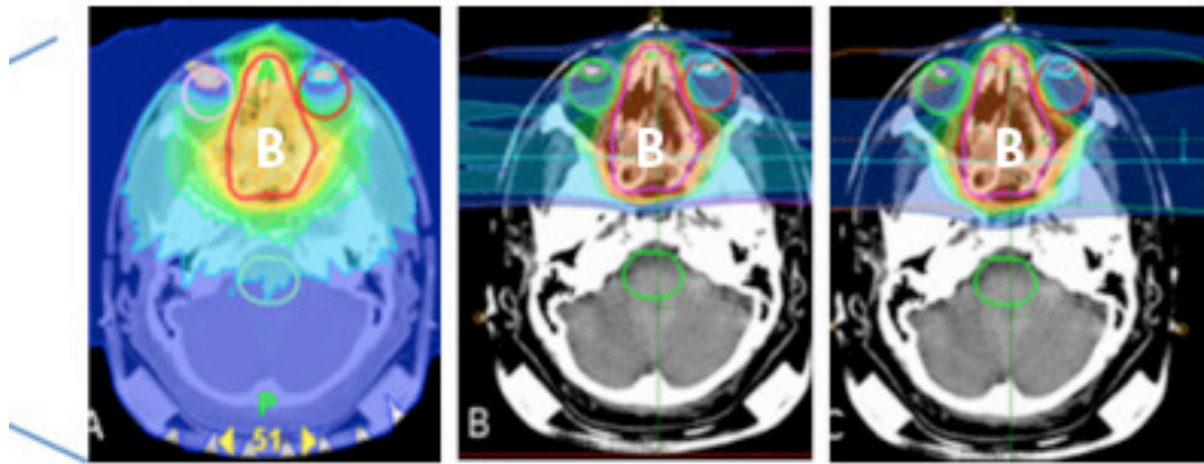
**RADIOTERAPIA
CONVENZIONALE**

ADROTERAPIA

Fotoni

Protoni

Carbonio

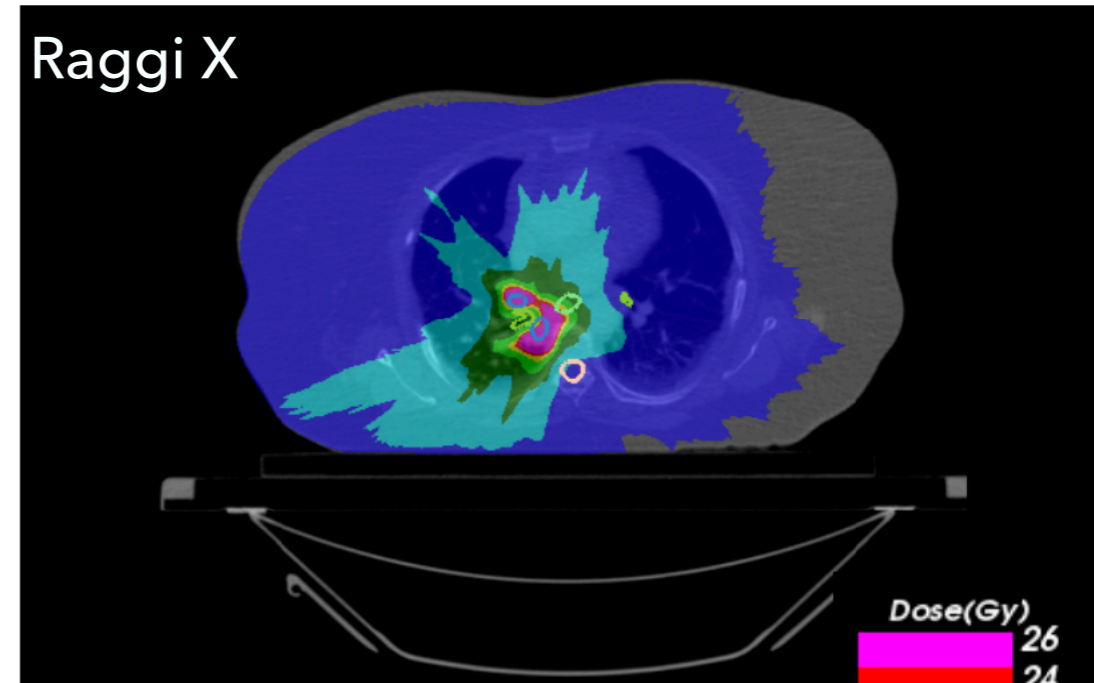


Fotoni

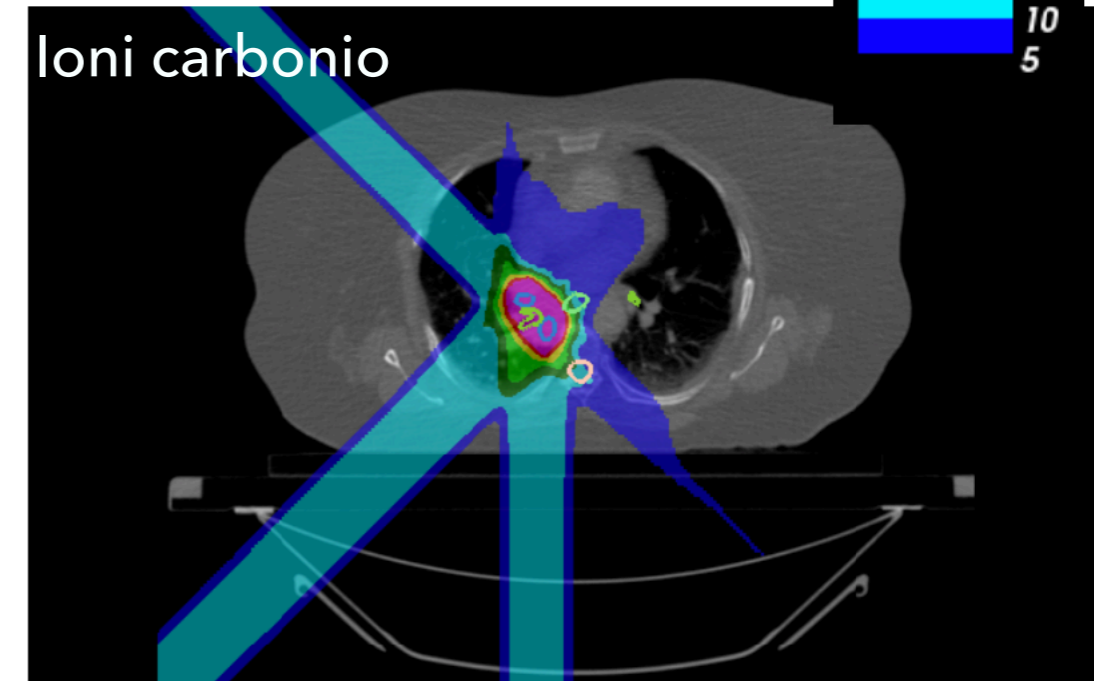
Protoni

Carbonio

Raggi X

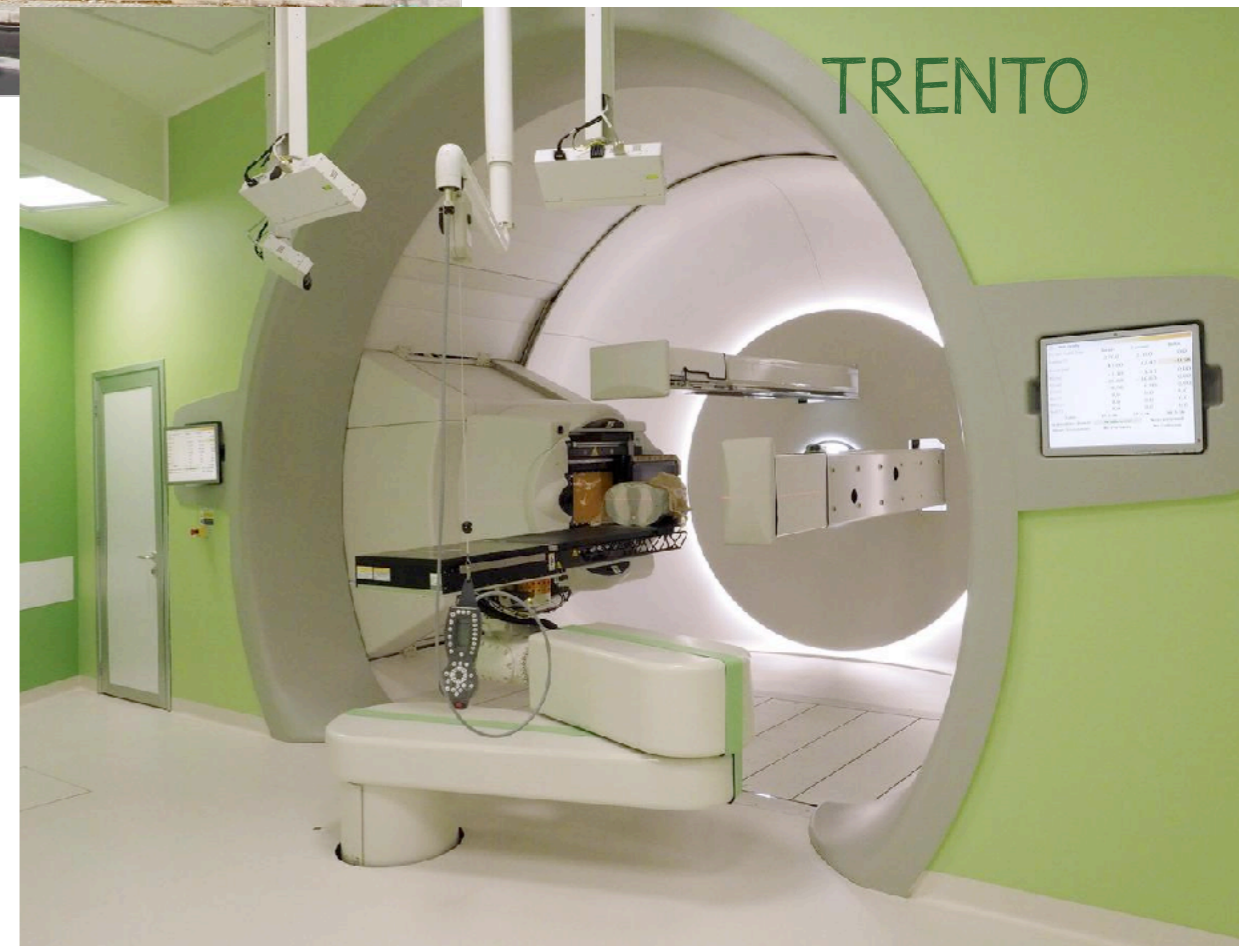
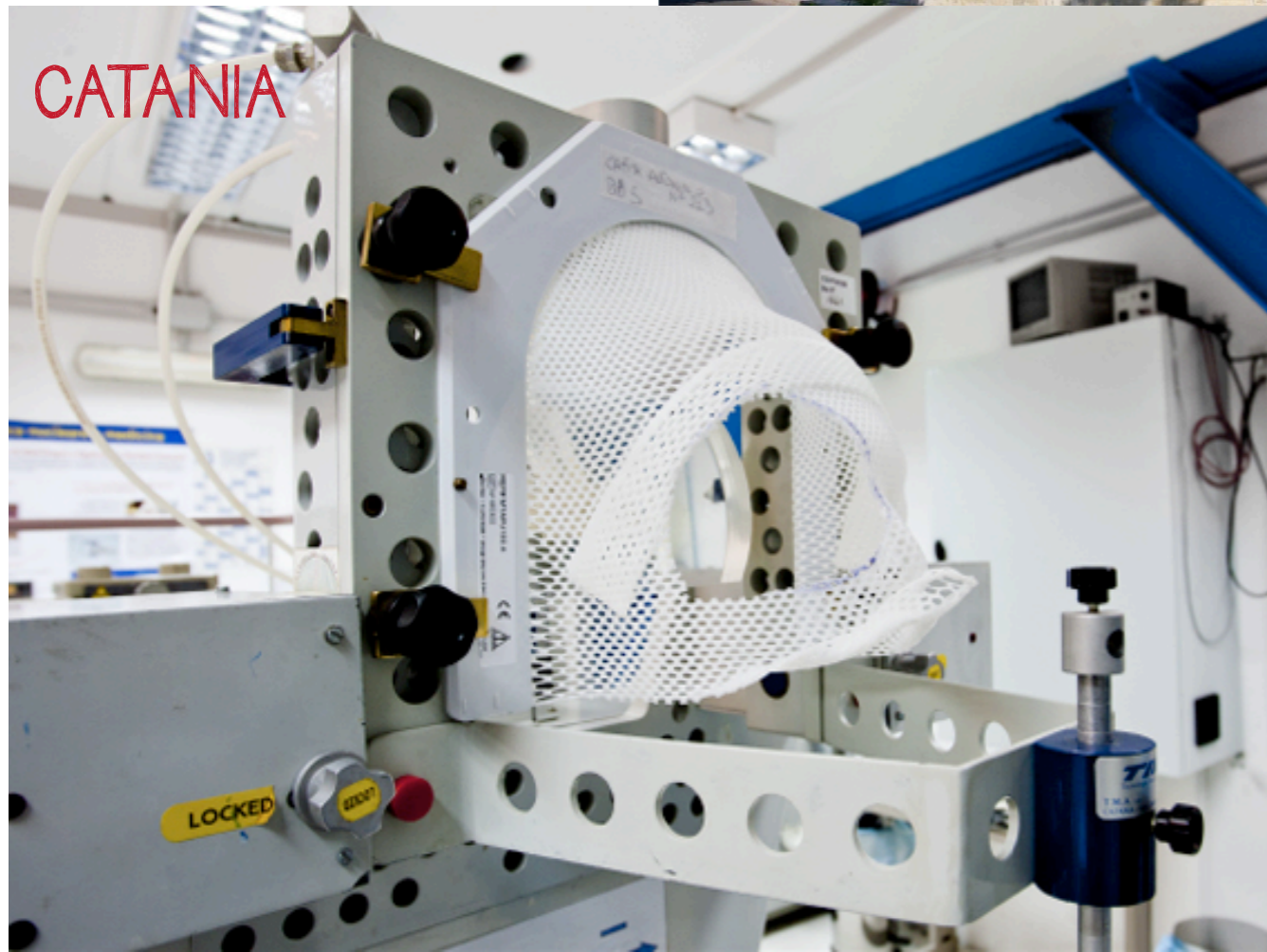


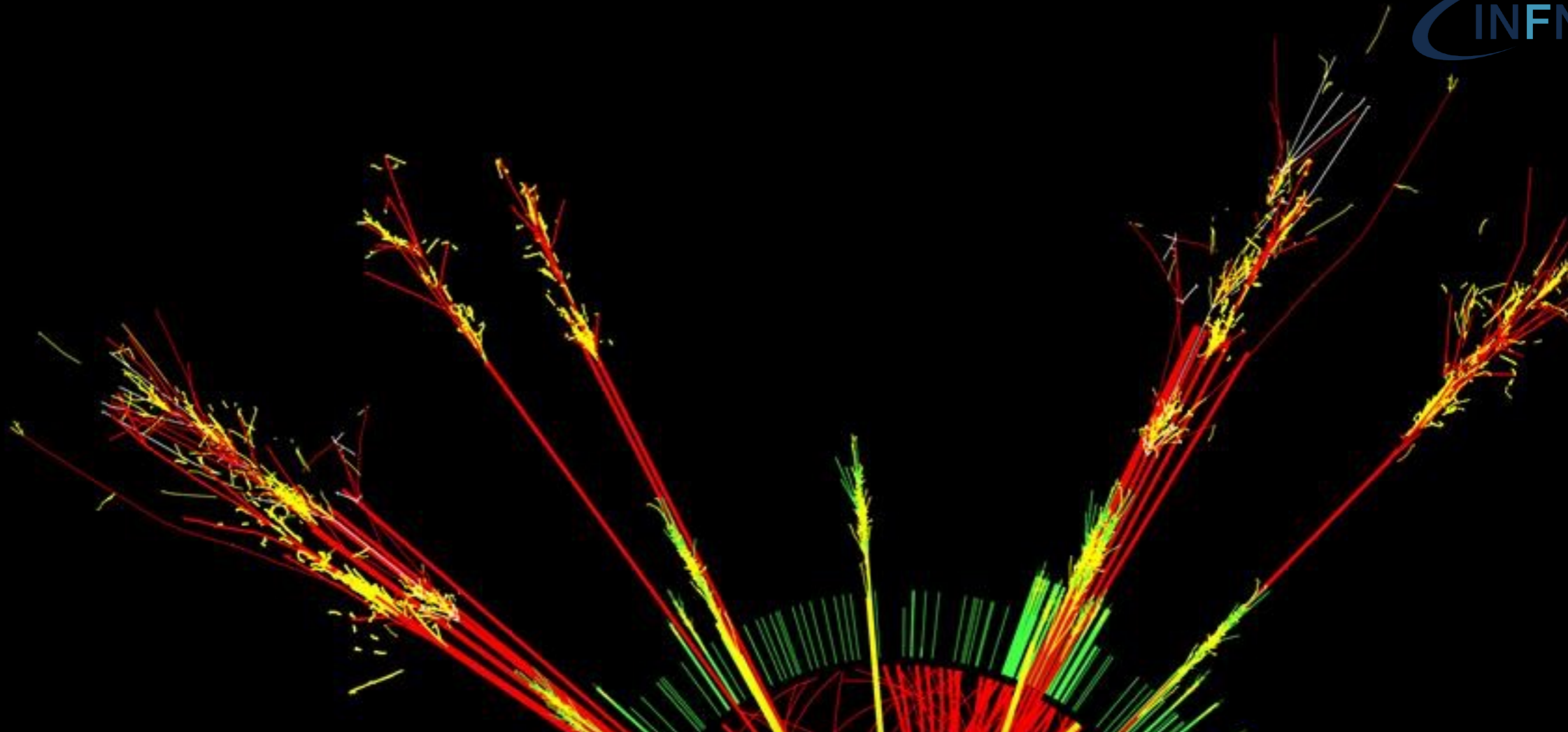
Ioni carbonio





300.000 ACCELERATORI





«Siamo solo una specie evoluta di scimmie su un pianeta minore di una stella media. Ma siamo in grado di capire l'Universo. Questo ci rende qualcosa di molto speciale».

S. Hawking