



VINCENZO VAGNONI E ANTONIO VITALE

LA FABBRICA DELLE PARTICELLE

IL LARGE HADRON COLLIDER ALLA SCOPERTA DELLE ORIGINI DELL'UNIVERSO



Supplemento al MARCHIO COSENZO DE GN - IL RESTO DEL CARMINO - LA MADONNE - IL GIORNO



Collana "Marche Scienza"



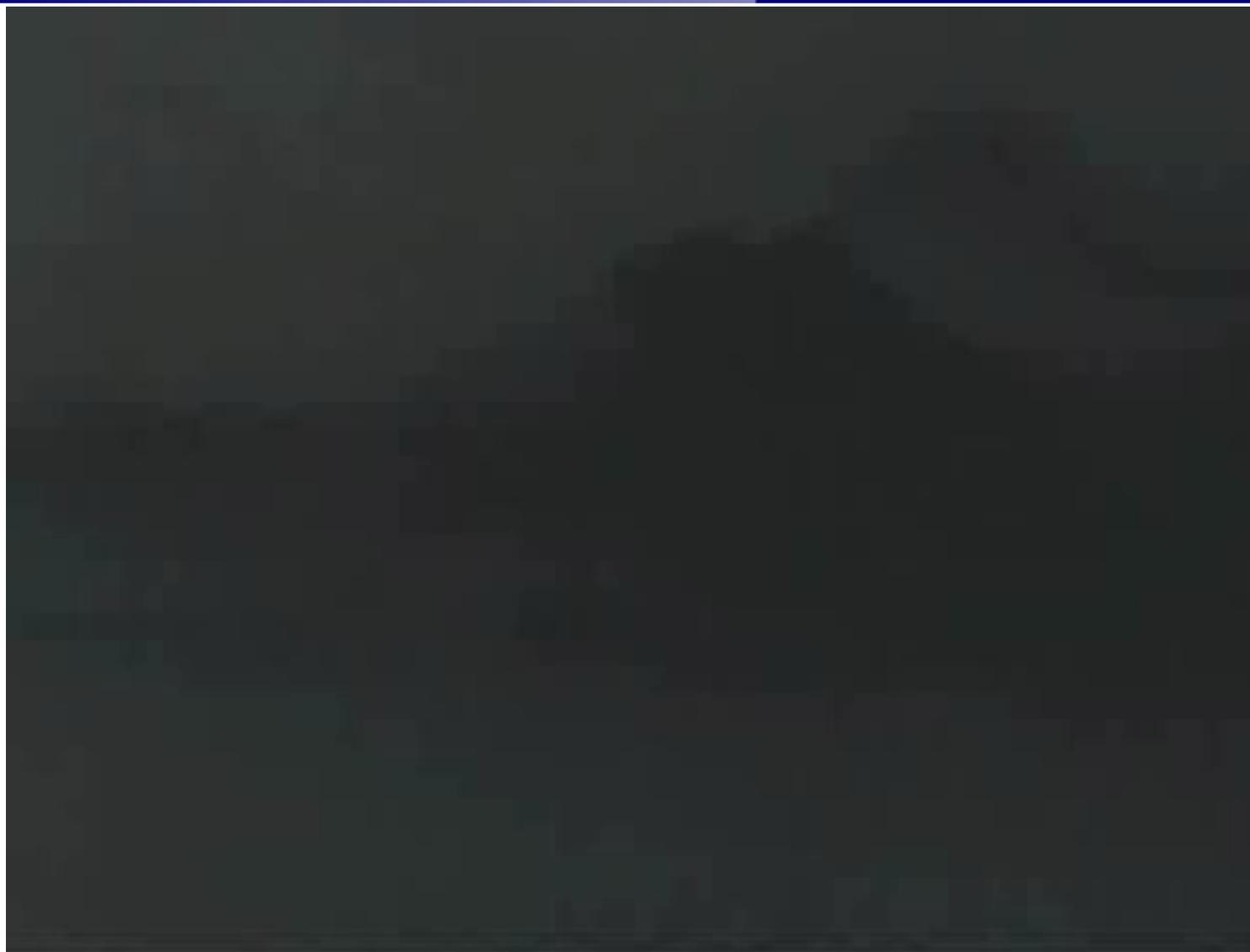
Il Large Hadron Collider un viaggio nello spazio e nel tempo

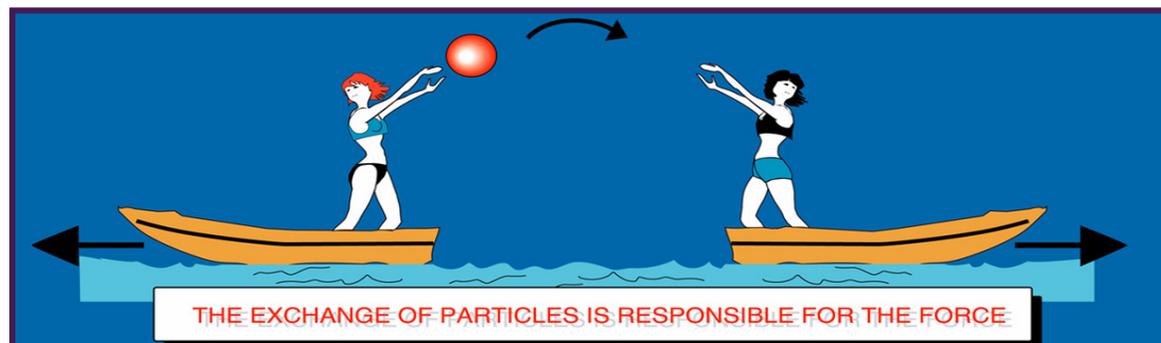
La filosofia è scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intender la lingua, e conoscer i caratteri, ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola; senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto.

(Galileo Galilei, Il Saggiatore)

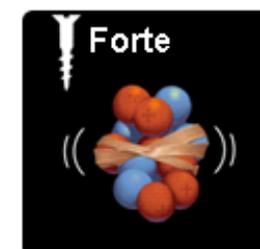
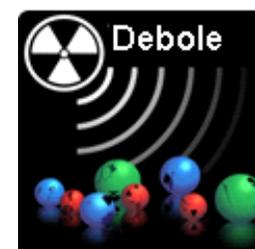
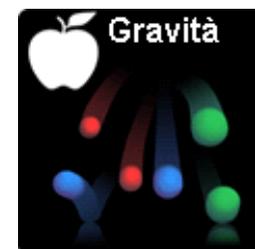
Vincenzo Vagnoni - Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e Fondazione Occhialini

Antipasto LHC in 10 minuti



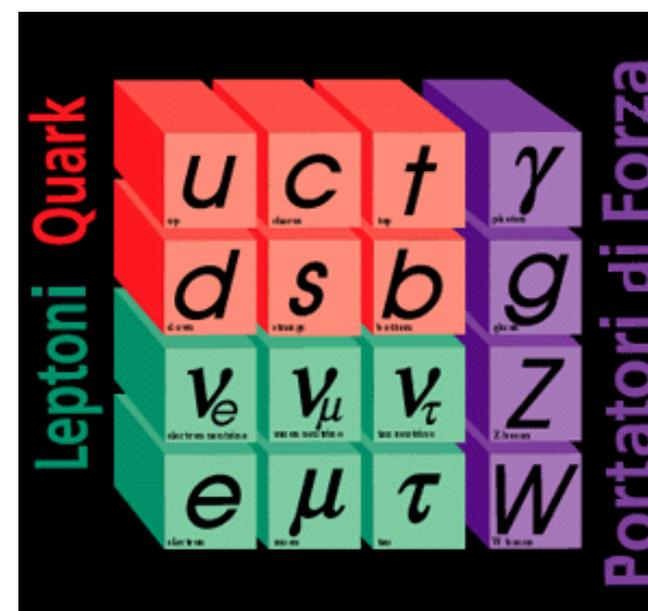
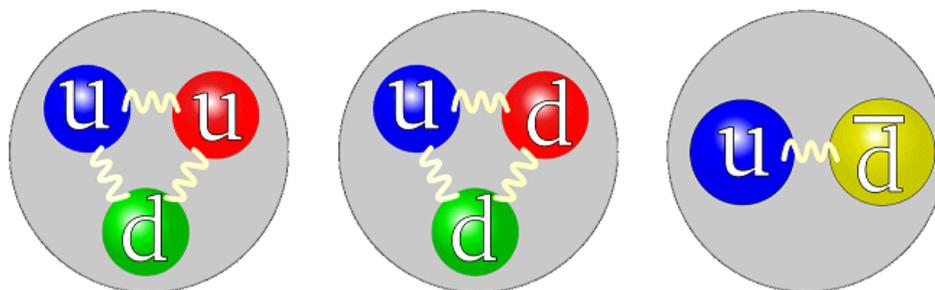
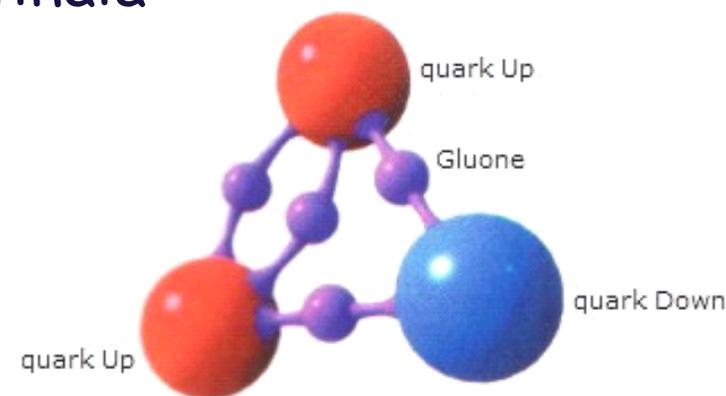


Lo scambio di particelle è responsabile della forza



Tipo di forza	Intensità relativa delle forze	Particelle scambiate	Dove si manifesta
Forza forte	~ 1	gluoni	Nuclei atomici
Forza elettromagnetica	$\sim 10^{-3}$	fotoni	Elettricità
Forza debole	$\sim 10^{-5}$	bosoni W,Z	Sole, decadimento radioattivo β
Gravità	$\sim 10^{-38}$	gravitoni	Mantiene i nostri piedi per terra

- ❑ Oggi giorno conosciamo alcune centinaia di particelle
- ❑ Ma tutte sono generate dall'unione di un insieme molto piccolo di particelle elementari
- ❑ 6 quark (e 6 anti-quark) + 6 leptoni (e 6 anti-leptoni) + 4 portatori di forza + la particella di Higgs



Mystery



Chi dà alle particelle esattamente la massa che hanno?

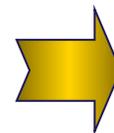


Bosone di Higgs?

Mystery



Da dove viene la materia oscura nell'Universo?

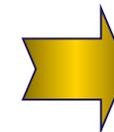


Supersimmetria?

Mystery



Com'era l'Universo alla nascita (o quasi)?



Plasma quark-gluoni?

Mystery

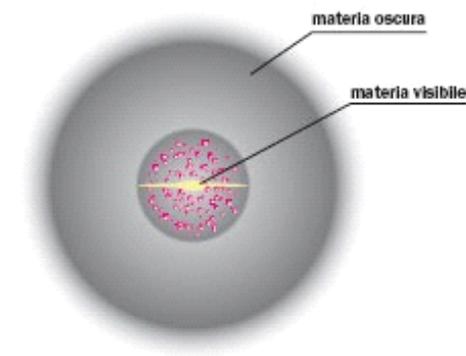
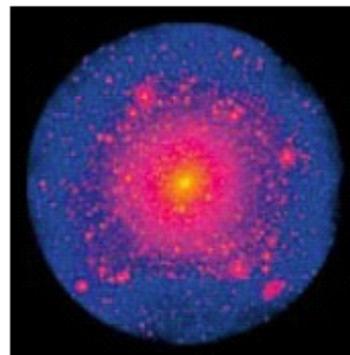


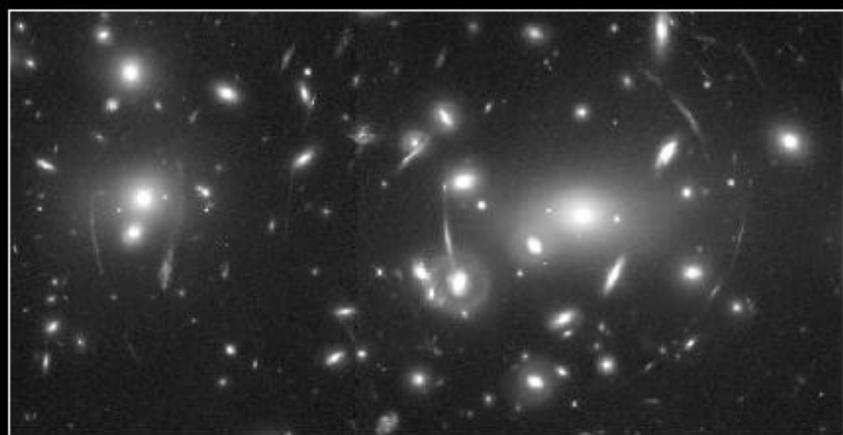
Perchè l'Universo a noi noto è composto esclusivamente di materia e non vi è traccia di anti-materia?



Materia e anti-materia non sono simmetriche?

- ❑ Dalle osservazioni astronomiche sappiamo infatti in modo incontrovertibile che la materia a noi visibile mediante i più potenti telescopi, costituisce una piccola percentuale della materia totale presente nell'Universo.
- ❑ La materia mancante non emette evidentemente luce, e per questo motivo è stata denominata "materia oscura".
- ❑ Risulta inoltre evidente che questa materia non può essere di tipo "ordinario", cioè non è composta da particelle che noi conosciamo. Potrebbe però essere composta, ad esempio, dalla particella supersimmetrica più leggera, sopravvissuta dai tempi del Big Bang fino ad oggi, e osservabile per il momento solo in modo indiretto, grazie ai suoi effetti gravitazionali sulla materia visibile. LHC potrebbe in questo caso darci la possibilità di produrre e studiare in laboratorio particelle di materia oscura.



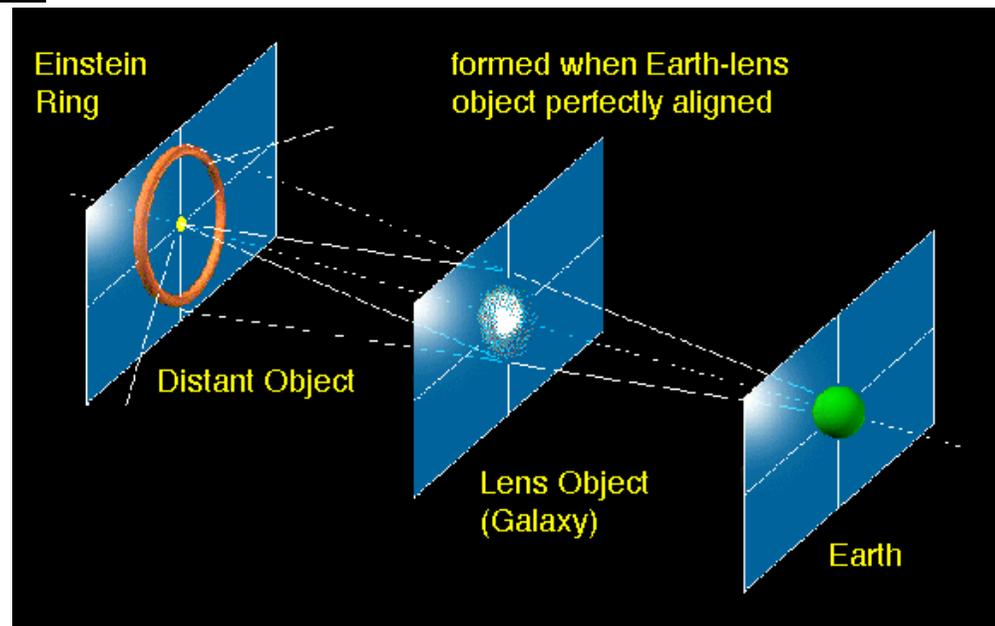
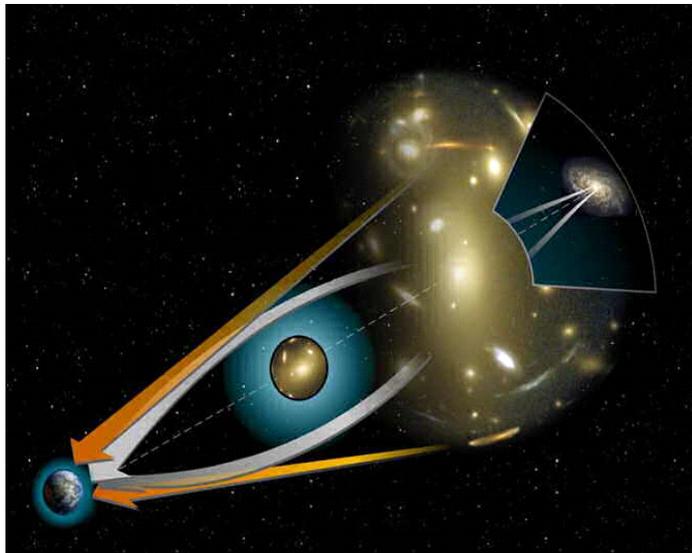


Gravitational Lens in Abell 2218

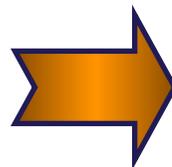
HST • WFPC2

PF95-14 • ST ScI OPO • April 5, 1995 • W. Couch (UNSW), NASA

- A livello astronomico si osservano effetti di tipo lente gravitazionale che possono essere spiegati soltanto se lungo il tragitto, la luce per giungere fino fosse curvata dalla presenza di una grossa quantità di materia, che risulta però invisibile



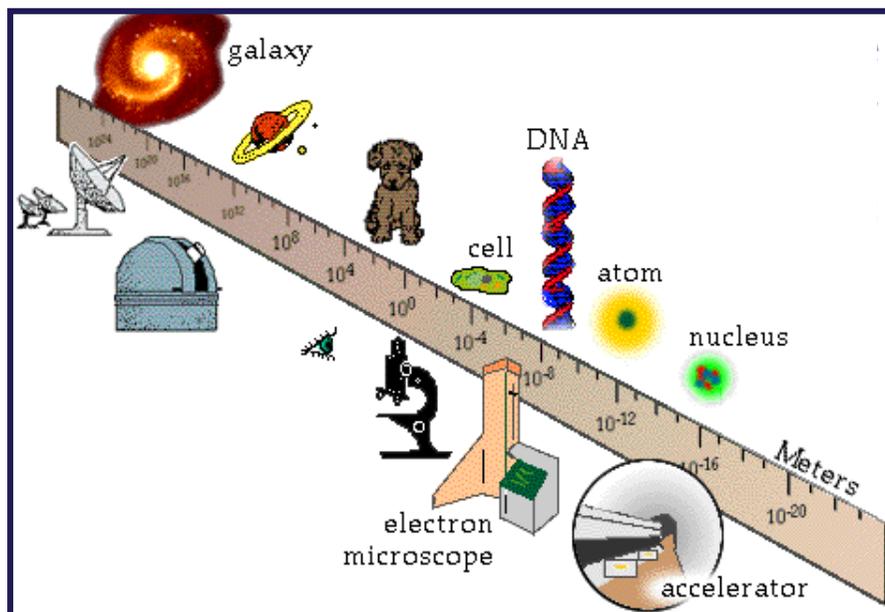
Cerchiamo di studiare
i costituenti
elementari della
materia



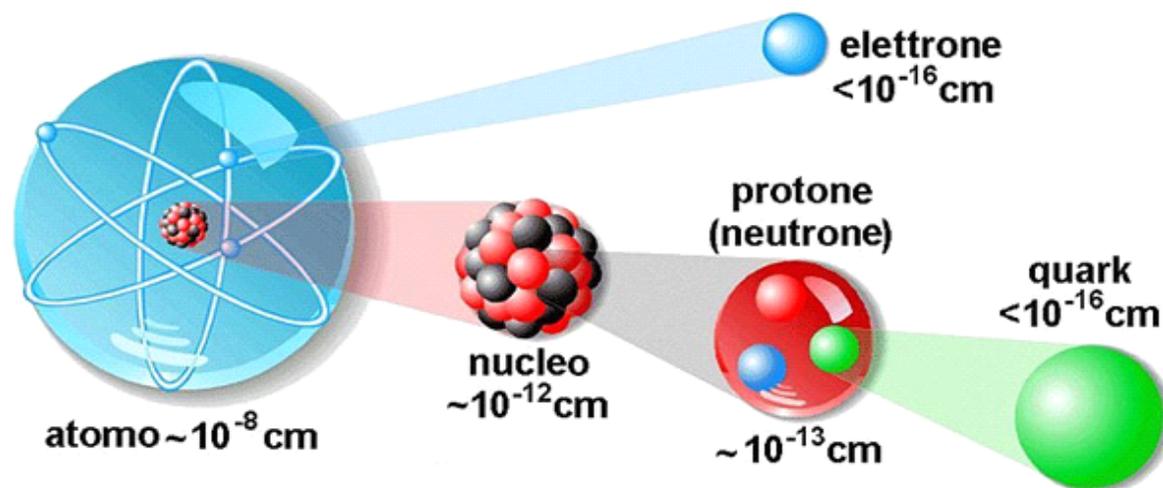
Abbiamo bisogno di
"vedere" oggetti
molto piccoli



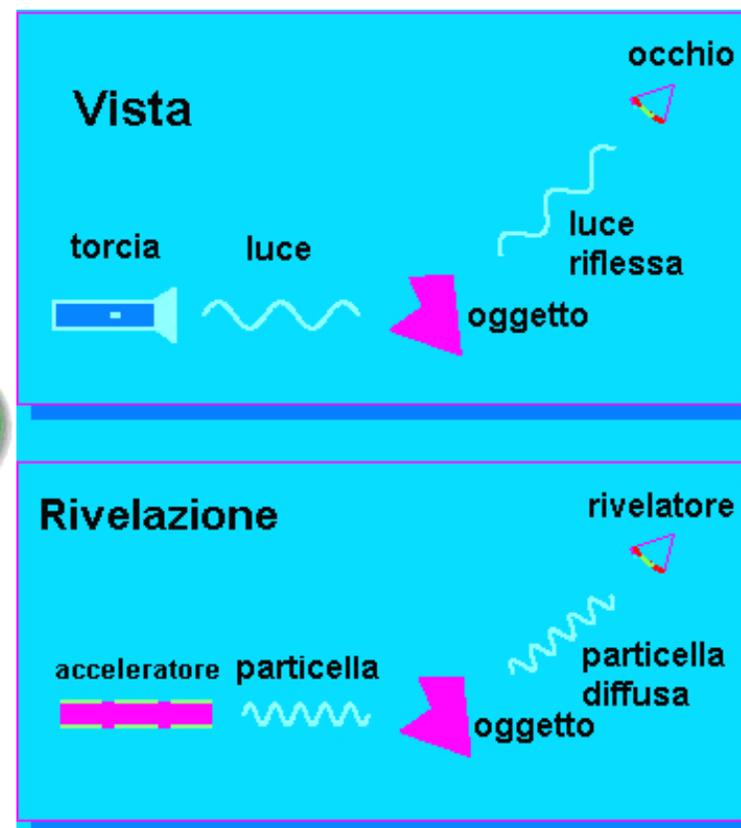
Quanto piccoli? E
come si vede un
oggetto molto
piccolo?

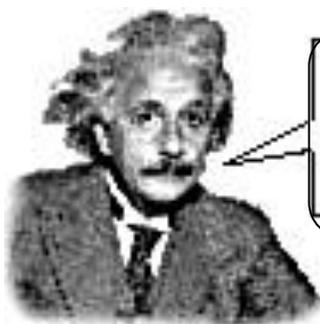


Quanto sono piccole?

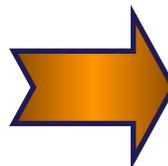


Serve una radiazione molto
energetica
(lunghezza d'onda piccola):
usiamo gli acceleratori di particelle!



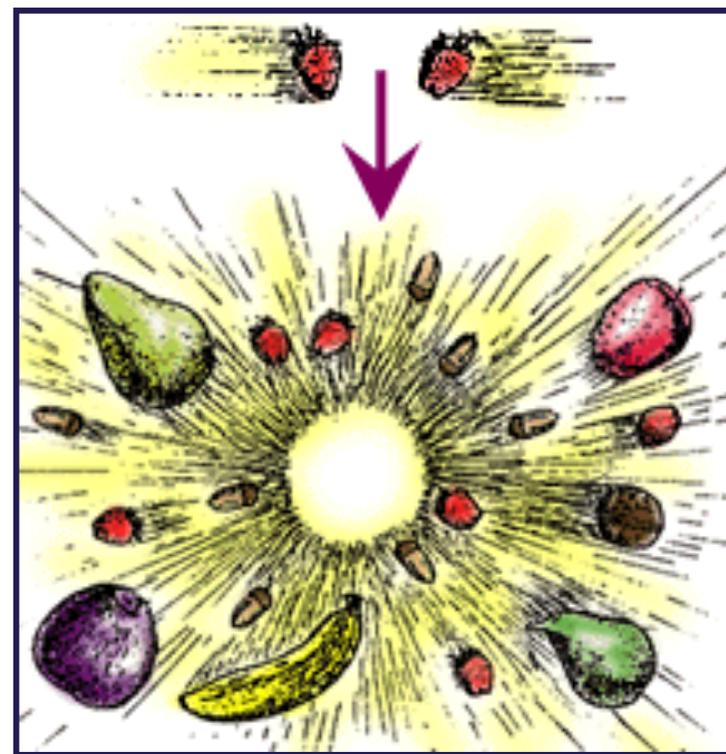


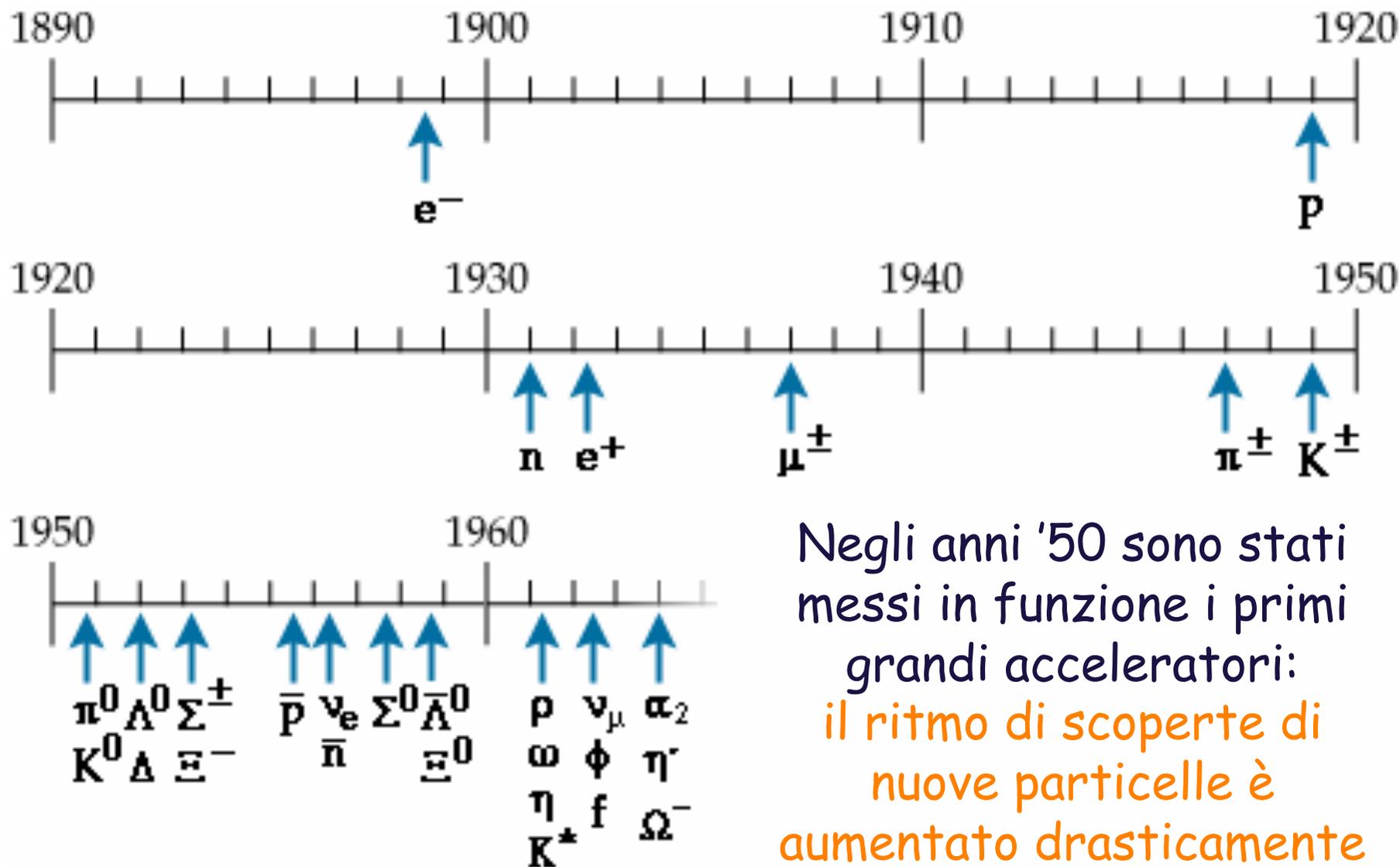
*La massa è una
forma di energia*



$$E=mc^2$$

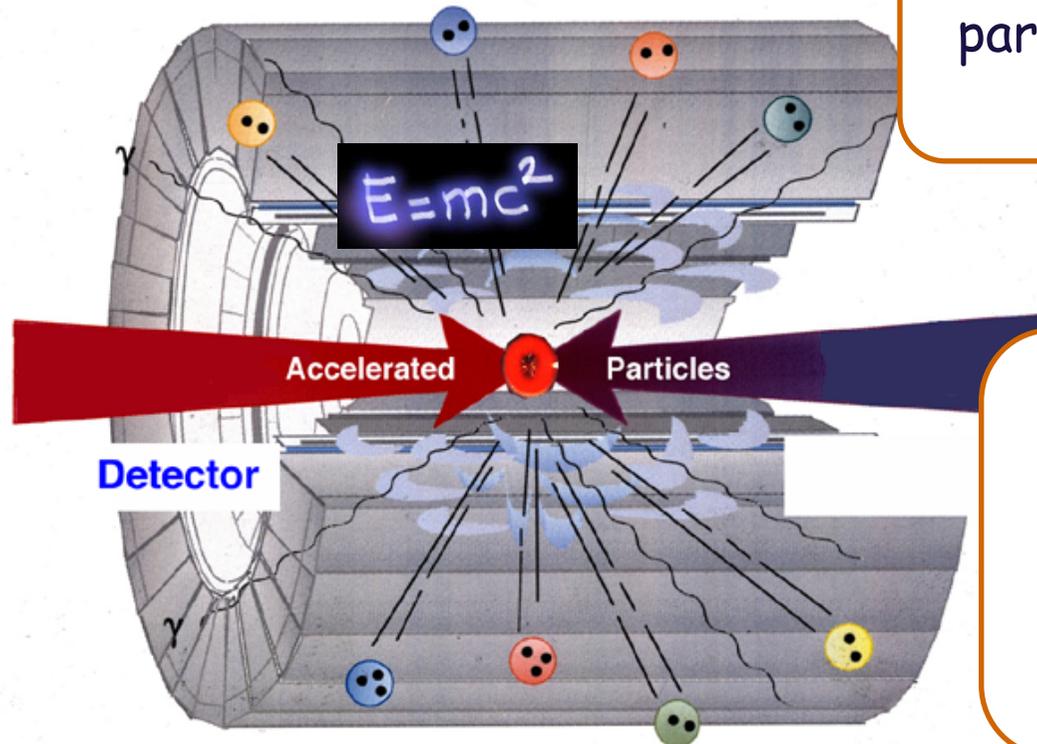
- ❑ Per studiare particelle di grande massa e molto instabili
- ❑ Si utilizzano particelle ordinarie, di piccola massa cui viene fornita una energia cinetica elevata **mediante un acceleratore**





Negli anni '50 sono stati messi in funzione i primi grandi acceleratori:
il ritmo di scoperte di nuove particelle è aumentato drasticamente

Con quali strumenti si osservano le particelle ?

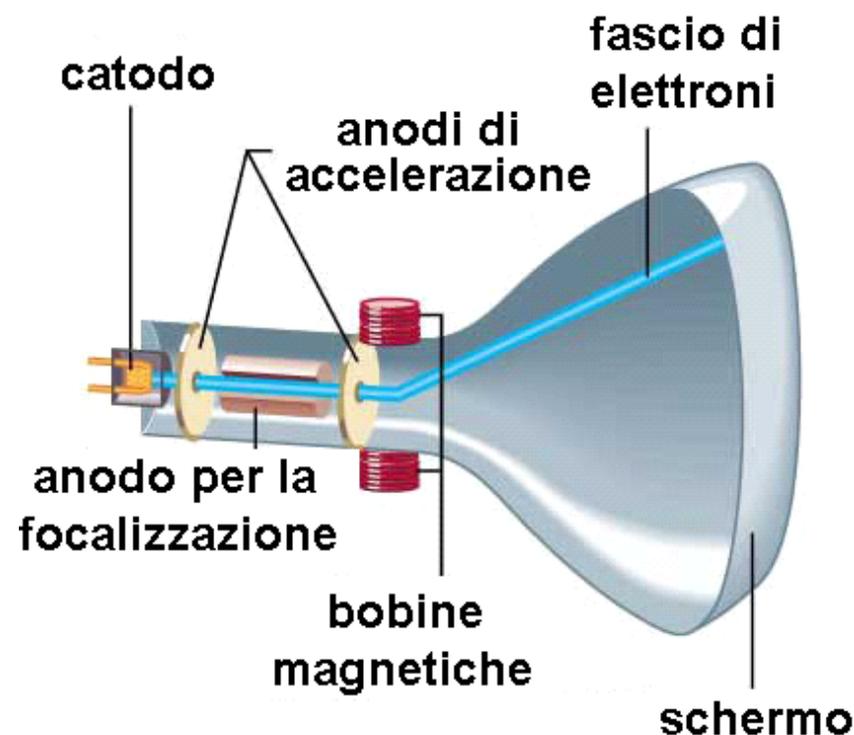


Per concentrare l'energia sulle particelle e farle collidere
↳ Acceleratori

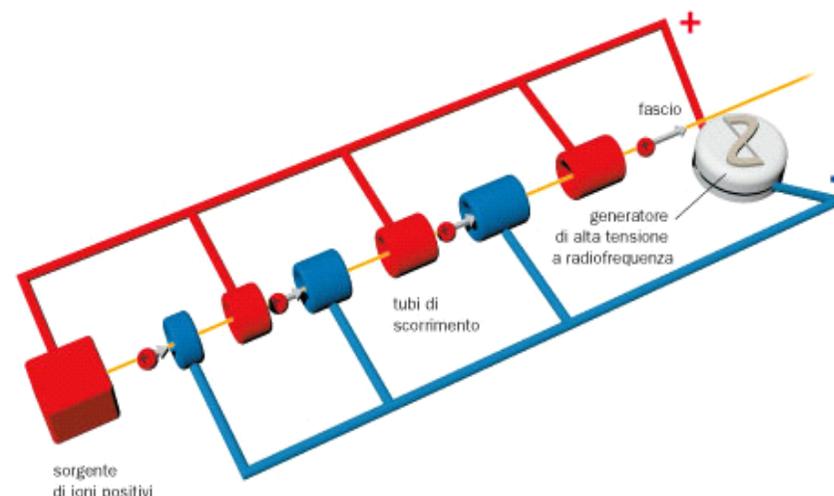
Per osservare, identificare, misurare le proprietà delle nuove particelle così create
↳ Rivelatori ("occhi elettronici")

Per raccogliere ed analizzare i dati
↳ Calcolo, reti

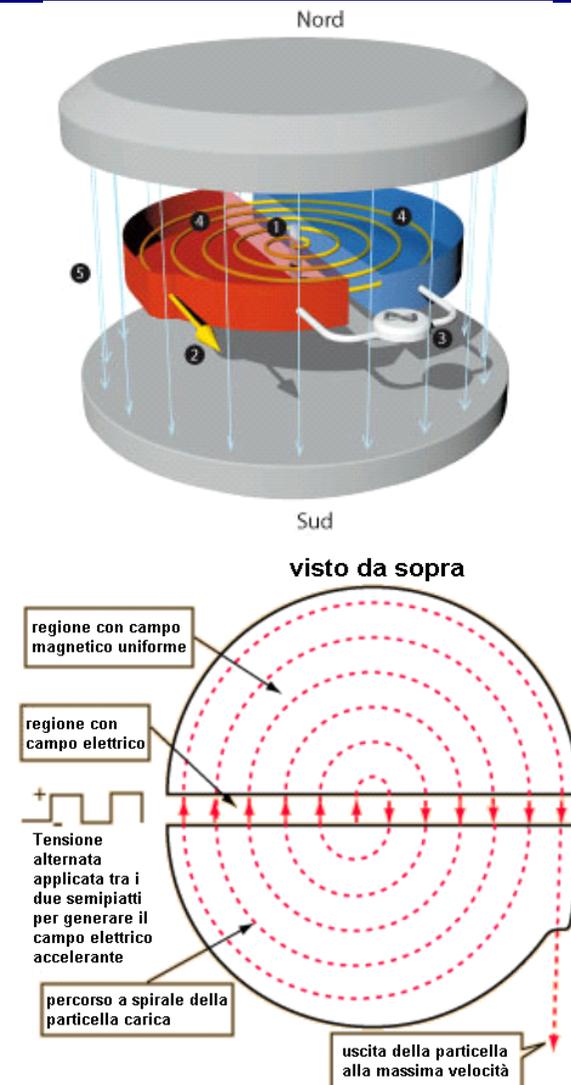
- ❑ Con il nome di acceleratore di particelle si intende una macchina capace di immagazzinare e far raggiungere energie elevate a particelle di vario genere, costringendole a seguire una traiettoria data, per essere poi impiegate come proiettili contro bersagli fissi o altre particelle.
- ❑ Un'acceleratore di elettroni diffusissimo nella vita di ognuno di noi, oramai quasi del tutto rimpiazzato da tecnologie più compatte e che presto diverrà sconosciuto ai più giovani, è il televisore a tubo catodico.



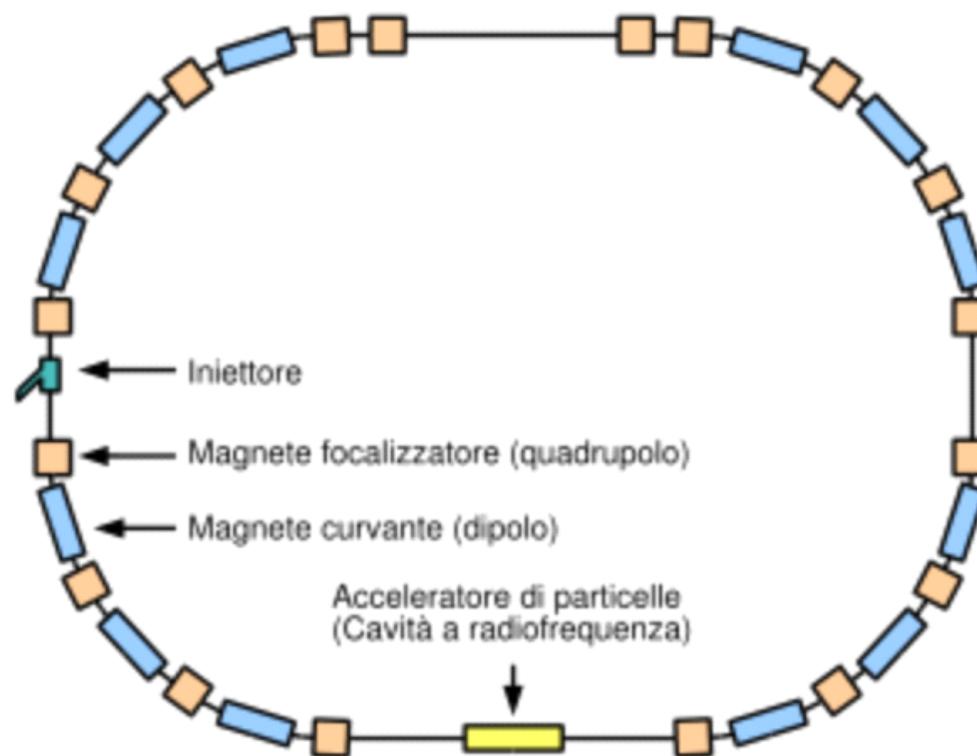
- ❑ Il dispositivo concettualmente più semplice per accelerare delle particelle è l'acceleratore lineare
- ❑ Si estende su una traiettoria rettilinea lungo la quale sono posti dei segmenti di tubo metallico collegati ad un generatore di tensione ad altissima frequenza
- ❑ Una particella carica (ad esempio un protone o un neutrone) attraversando lo spazio tra due segmenti di tubo aumenta la propria energia a causa della differenza di potenziale fornita dal generatore di alta tensione
- ❑ Attraversando un gran numero di questi segmenti la particella assume via via un'energia maggiore fino ad essere espulsa alla massima energia



- ❑ Un approccio molto più efficace consiste nell'impiego di acceleratori circolari
- ❑ Grazie al fatto che una particella carica sotto l'azione di un campo magnetico segue una traiettoria circolare, è possibile guidare la particella lungo un percorso prestabilito in modo da farla ripassare molte volte tra gli stessi stadi di accelerazione
- ❑ In questo modo l'acceleratore, a parità di energia che si vuole imprimere alle particelle, è estremamente più compatto.



- Il sincrotrone è un acceleratore nel quale le particelle sono accelerate lungo una traiettoria (grosso modo) circolare di raggio costante
- Il vantaggio principale rispetto ad un dispositivo come il ciclotrone è che il campo magnetico deve essere presente soltanto lungo il circolo descritto dalla particella, coprendo quindi una superficie che è enormemente più piccola di quella dell'intero anello
- L'accorgimento da prendere, poiché l'aumento di energia viene impresso alle particelle ad ogni rivoluzione, è che l'intensità del campo magnetico necessaria alla curvatura sia incrementata man mano che l'energia delle particelle aumenta



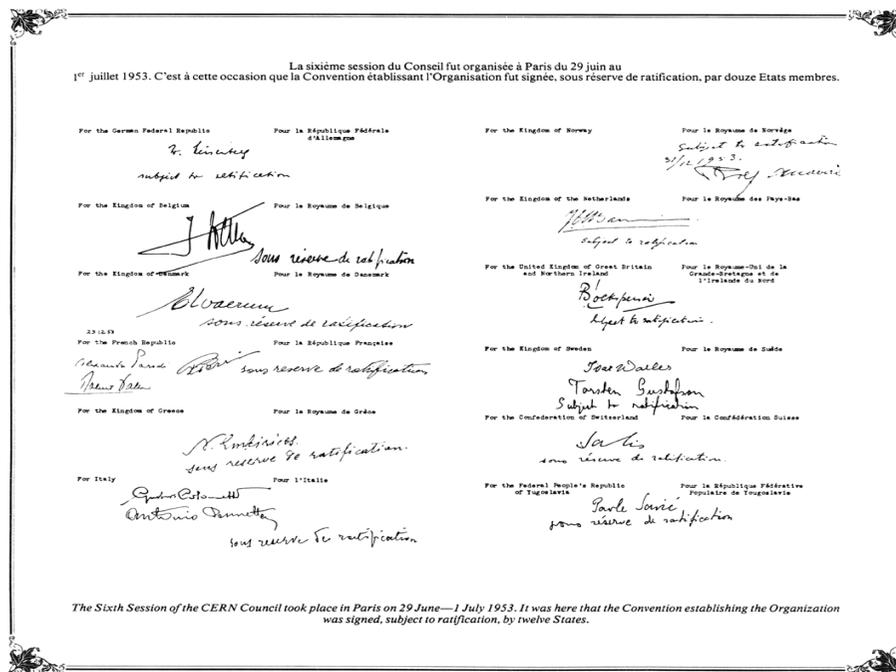


- ❑ gli acceleratori, sebbene siano nati e continuano ad essere sviluppati per la fisica di base, hanno anche altre innumerevoli applicazioni in settori quali la medicina, la microelettronica, i beni culturali e l'ambiente
 - ❑ la percentuale di acceleratori impiegati per scopi di ricerca nella fisica delle particelle non raggiunge nemmeno l'uno per cento dei circa 15.000 acceleratori in funzione nel mondo
 - ❑ i luoghi più comuni dove poter vedere un acceleratore non sono i laboratori di ricerca, bensì ospedali e grandi industrie
- ❑ Una delle applicazioni più importanti e diffuse degli acceleratori è la radioterapia, ossia la cura dei tumori tramite bombardamento con raggi X
 - ❑ I raggi X sono tipicamente prodotti dall'urto contro un bersaglio metallico di elettroni accelerati ad una ventina di MeV mediante acceleratori lineari.

- ❑ L'INFN è un ente di ricerca che ha come missione fondamentale lo studio dei costituenti elementari della materia.
- ❑ A questo scopo l'Istituto conduce da oltre 50 anni ricerche teoriche e sperimentali nel campo della fisica nucleare, subnucleare e astroparticellare.
- ❑ L'INFN è oggi organizzata in 20 dipartimenti presenti in quasi tutte le regioni italiane, con in aggiunta 11 gruppi di ricerca collegati, 4 laboratori nazionali e 1 centro di calcolo.
- ❑ I quattro laboratori si trovano a Frascati, Legnaro, Catania ed infine al di sotto del Massiccio del Gran Sasso
- ❑ L'INFN ha attualmente circa 2.000 dipendenti, ai quali vanno aggiunti altrettanti ricercatori e professori universitari che esercitano la propria ricerca nel settore delle particelle elementari, e più di un migliaio di giovani, aspiranti futuri ricercatori.



- ❑ Fondata nel 1954 da 12 Paesi tra cui l'Italia
- ❑ Oggi: 20 stati membri
- ❑ Più di 7000 utilizzatori da tutto il mondo
- ❑ Budget annuale di 600-700 milioni di euro

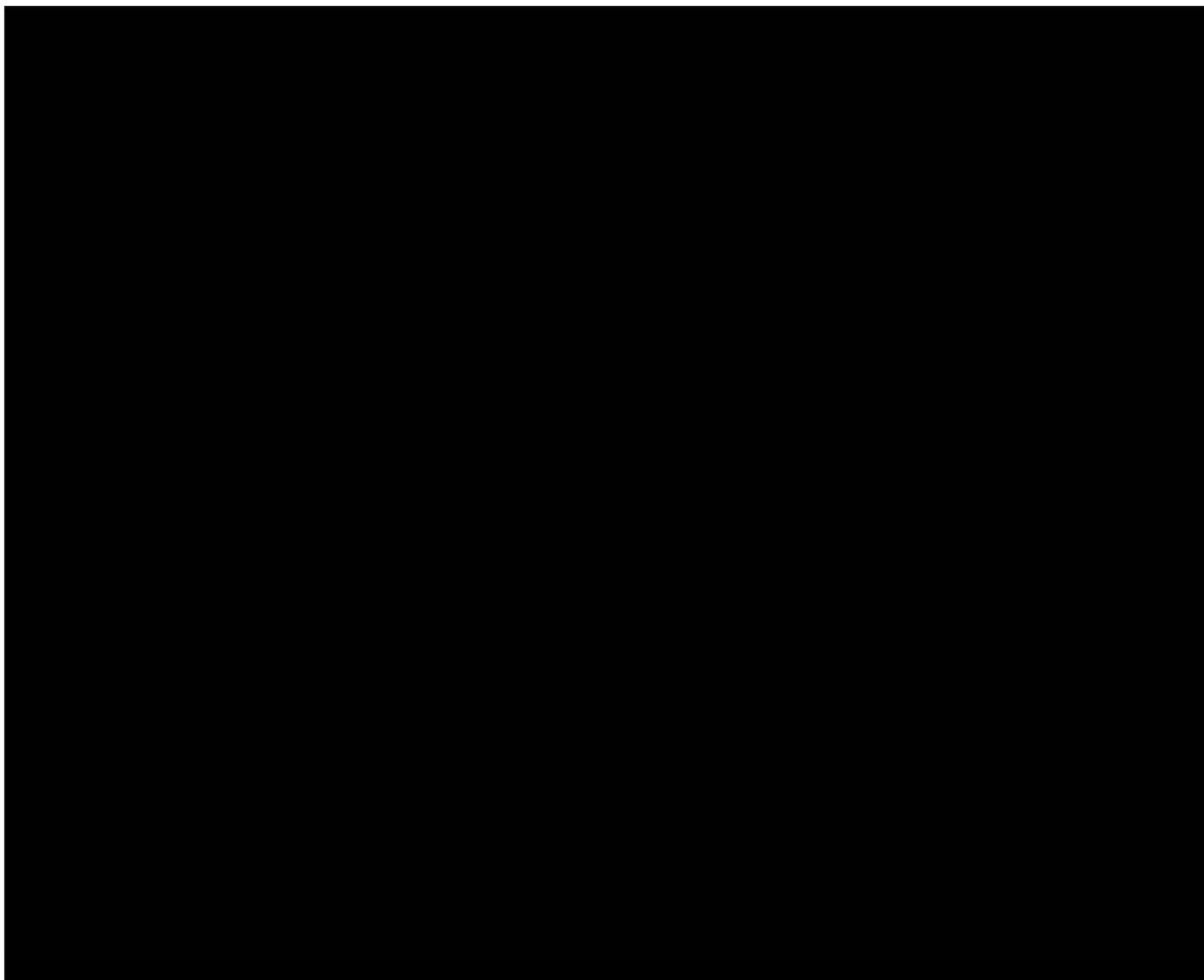


1954: La convenzione che ha dato nascita all'Organizzazione - firme originali

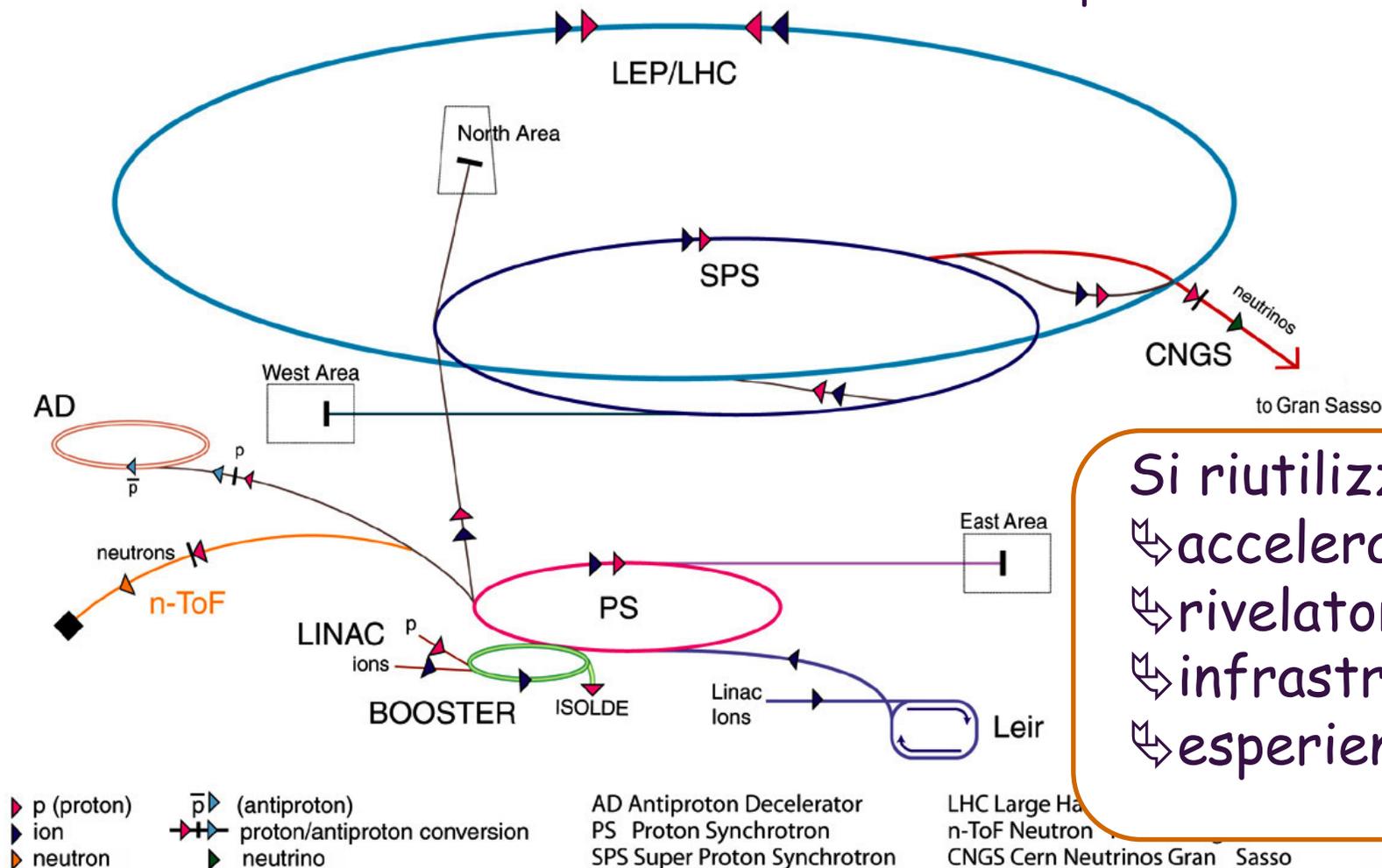


2004: 1 20 stati membri

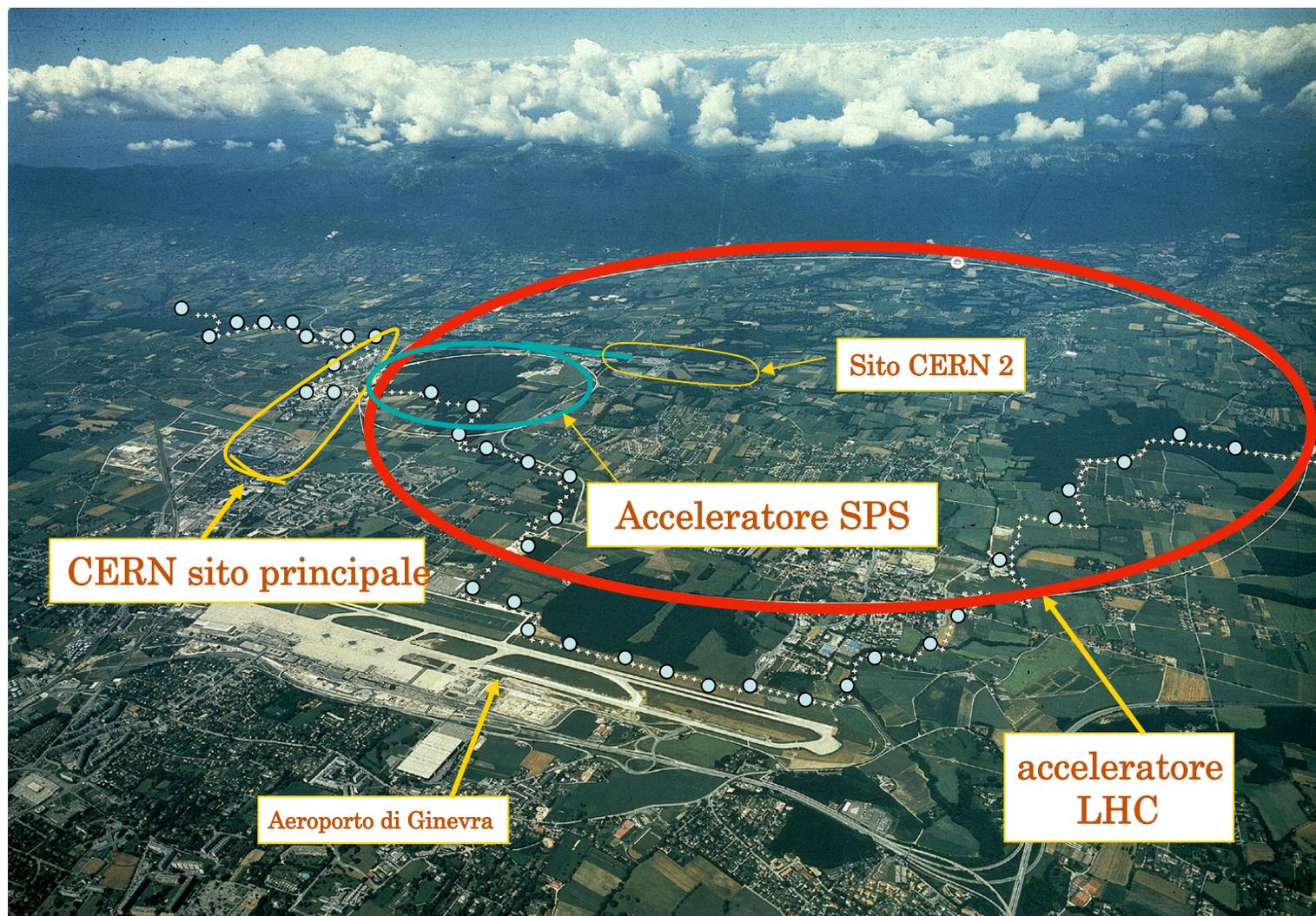
Il CERN in 3 minuti



La catena degli acceleratori al CERN:
un sistema che evolve nel tempo



Si riutilizzano:
 ↳ acceleratori,
 ↳ rivelatori,
 ↳ infrastrutture
 ↳ esperienza



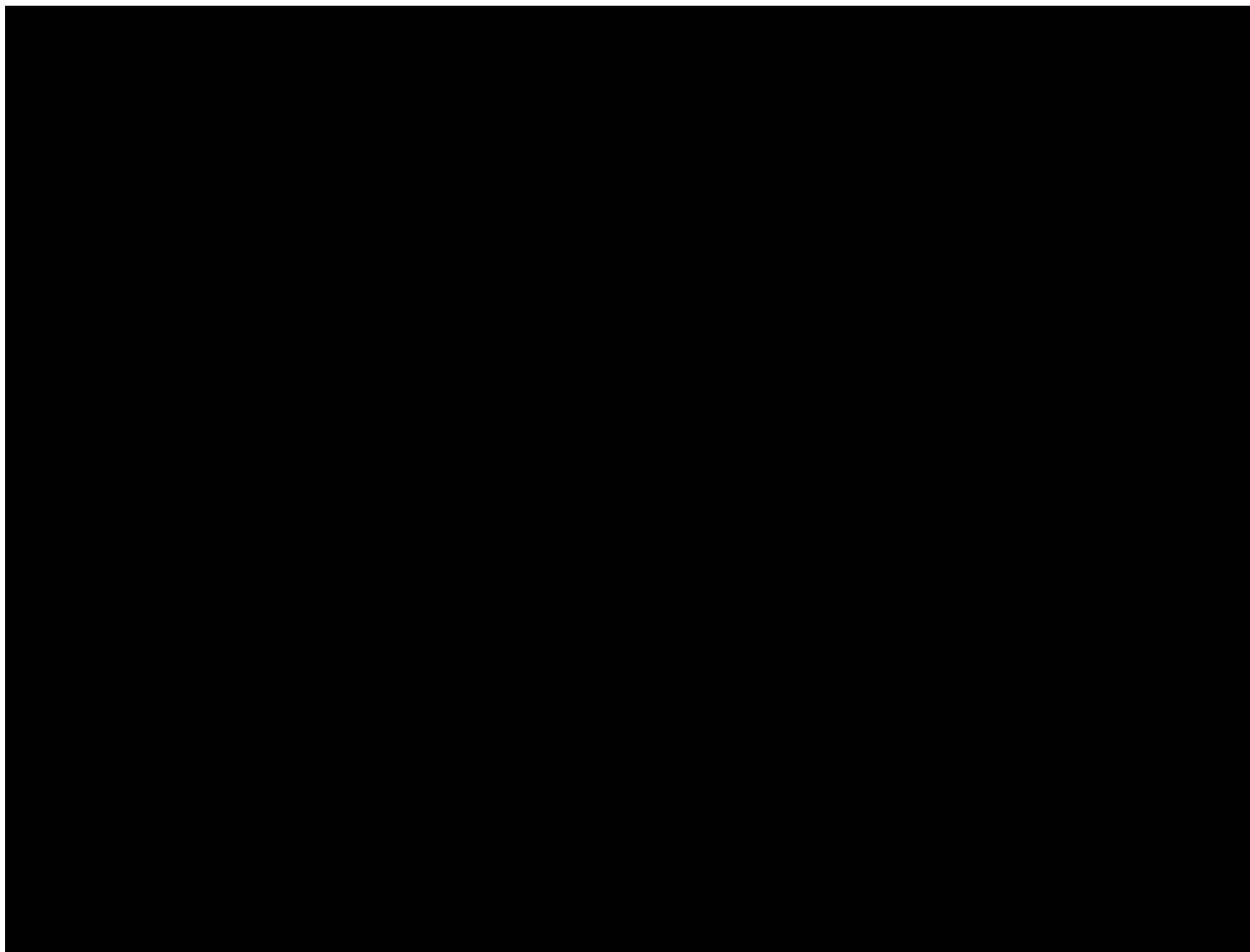
I due fasci di protoni collidono tra loro
800 milioni di volte al secondo

- ❑ 100 milioni di volte l'energia degli elettroni nel tubo catodico della TV.
- ❑ L'energia immagazzinata nell'acceleratore è equivalente all'energia cinetica di una massa di 1 kg lanciata ad una velocità di ~ 100000 km/h
- ❑ Un "piccolo" dettaglio: il costo
 - ❑ **6 miliardi di euro** pagati in circa 10 anni dagli stati membri del CERN su budget normale, senza richiesta di sovvenzioni speciali)



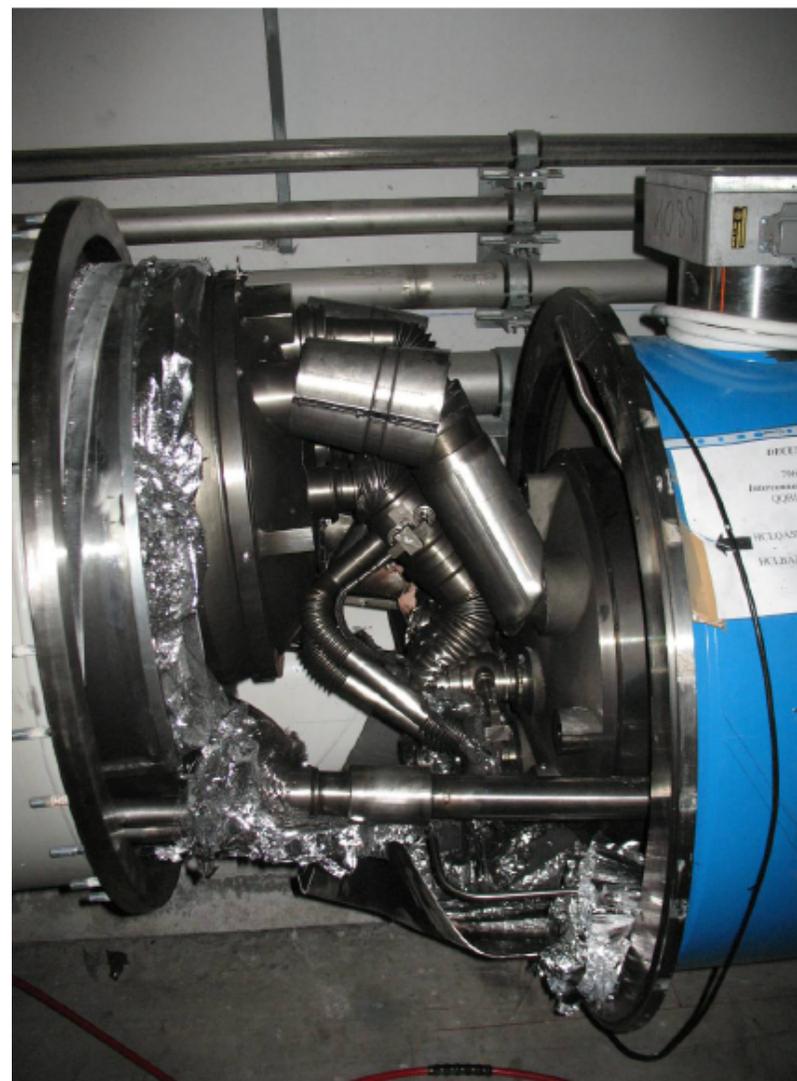
Il tunnel e i magneti superconduttori

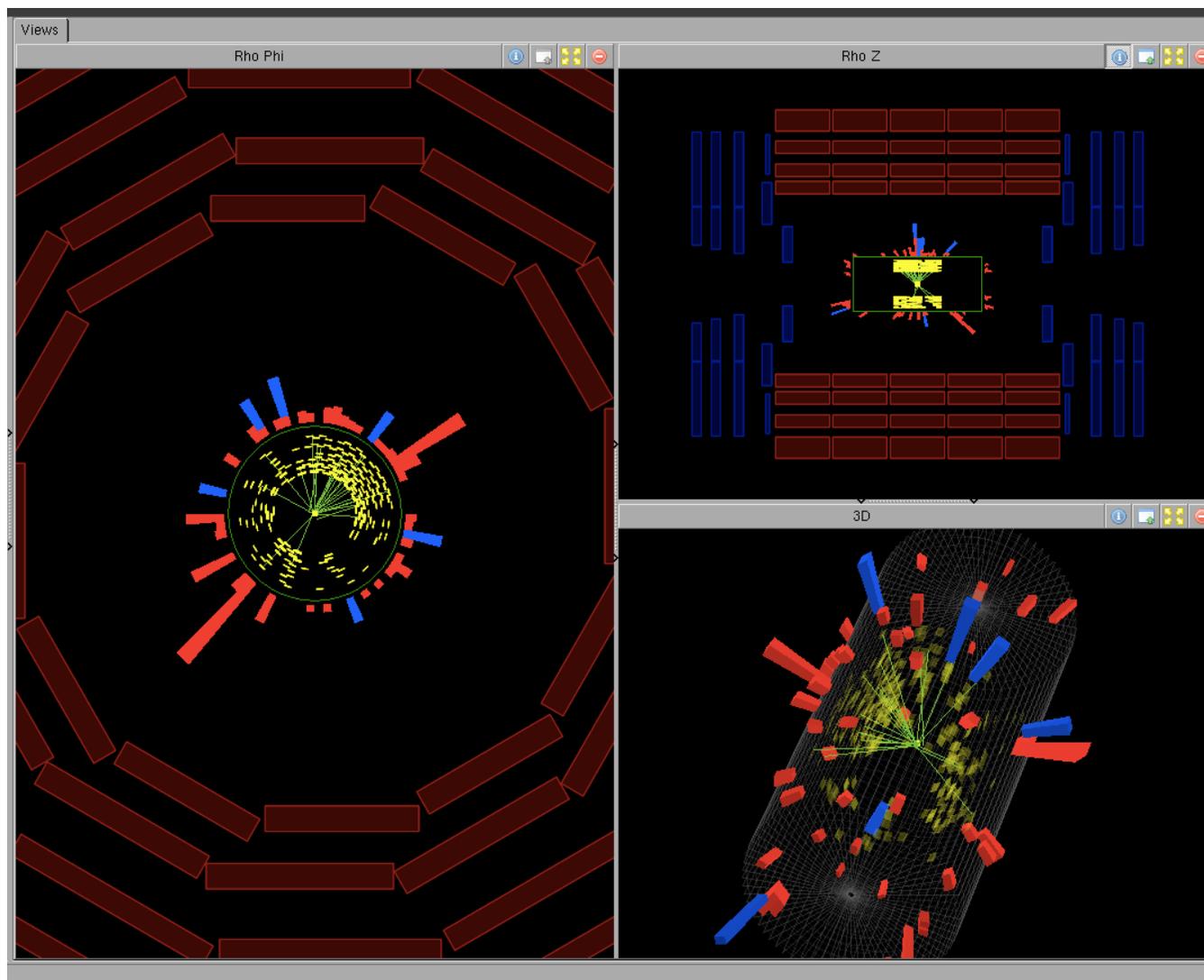












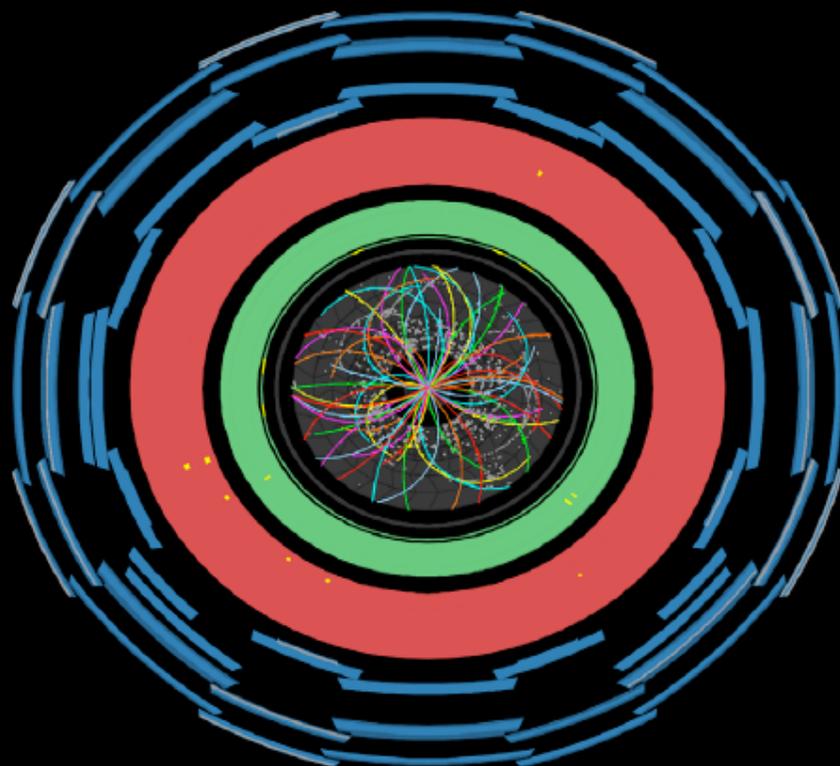


Collisioni a 7 TeV

l'energia più alta mai raggiunta sulla terra!

CERN: March 30th, 2010, 12:57
LHC collisions p-p at $\sqrt{s} = 7$ TeV:
HEP is finally in the new era!

<http://atlas.web.cern.ch/Atlas/public/EVTDISPLAY/events.html>

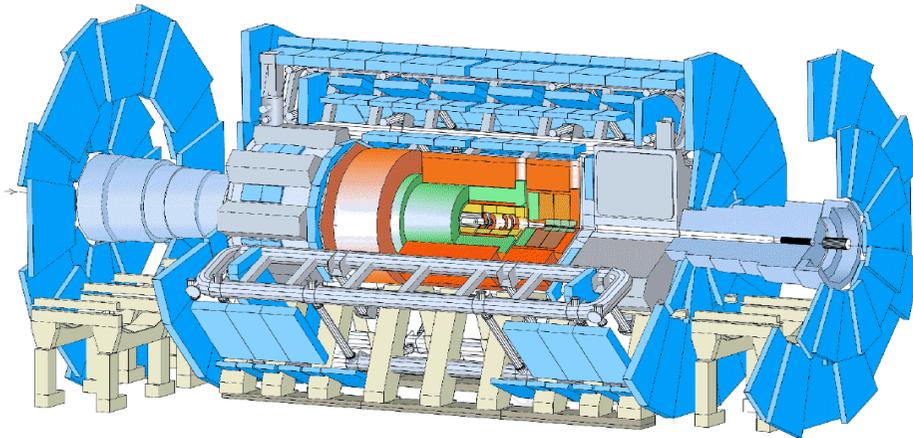


 **ATLAS**
EXPERIMENT

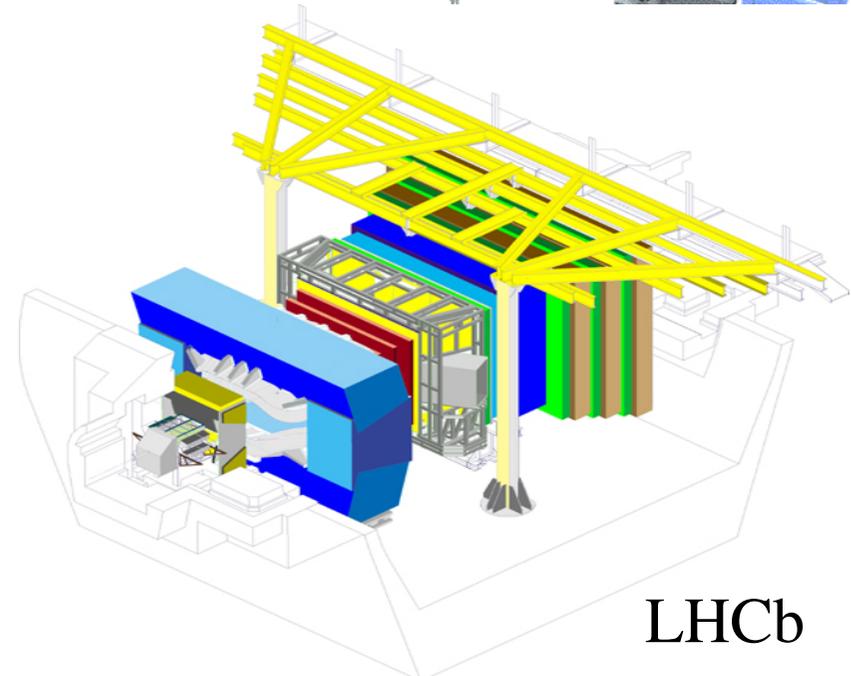
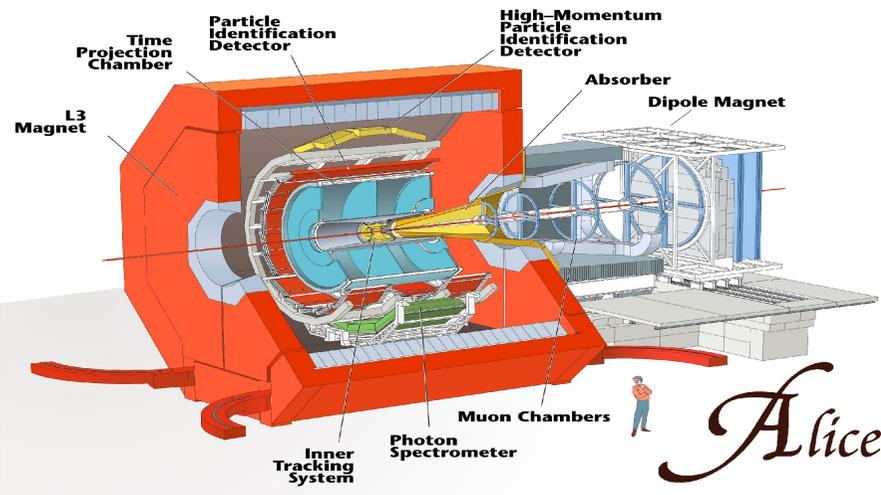
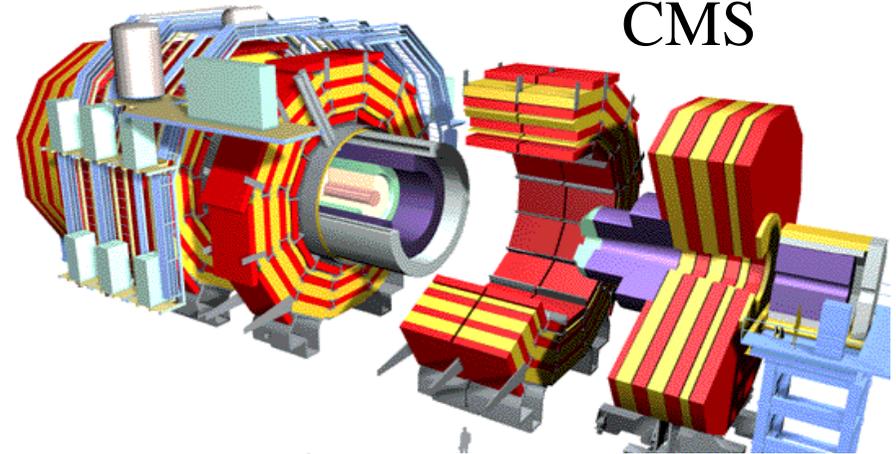
Run Number: 152166, Event Number: 316199

Date: 2010-03-30 12:58:23 CEST

ATLAS



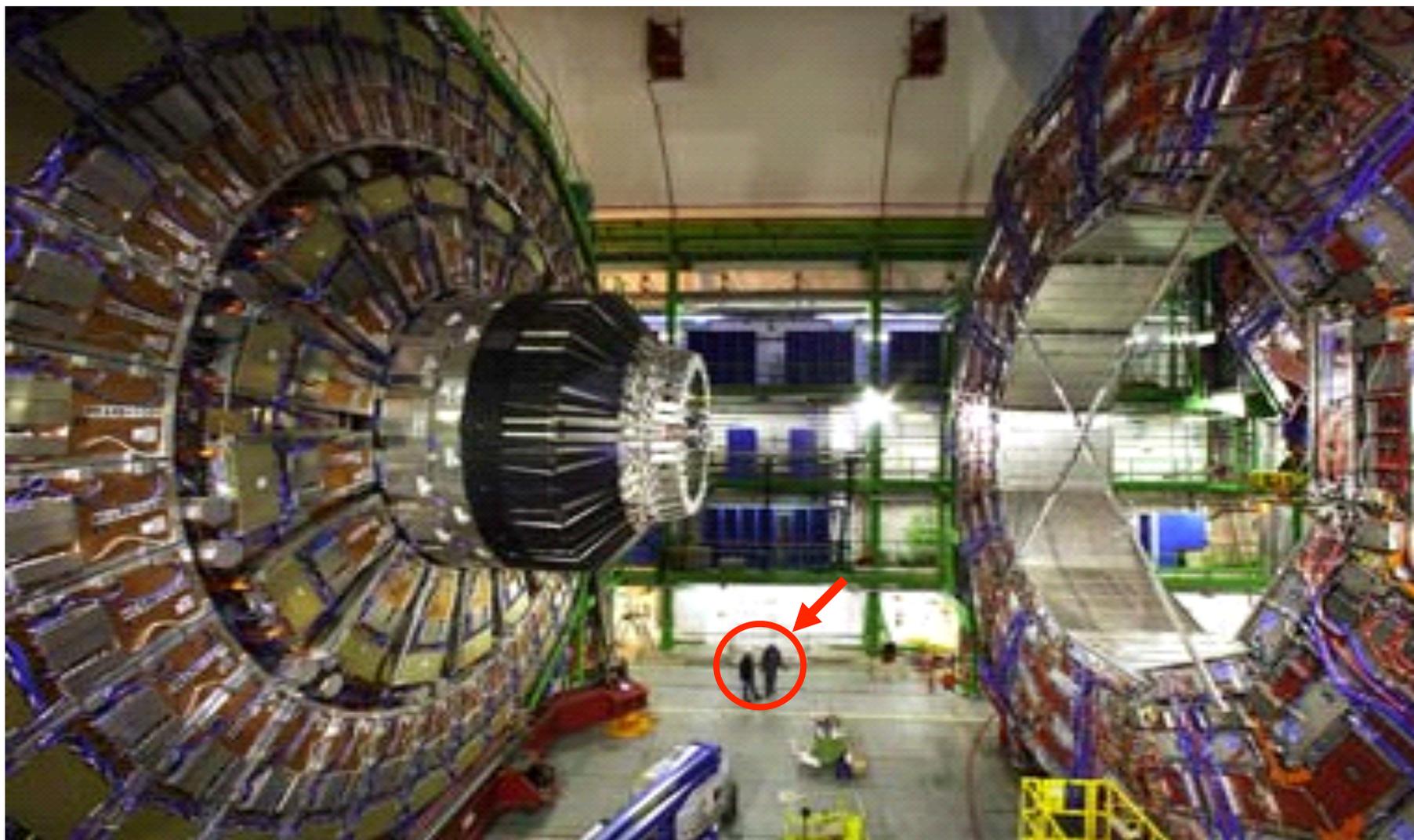
CMS



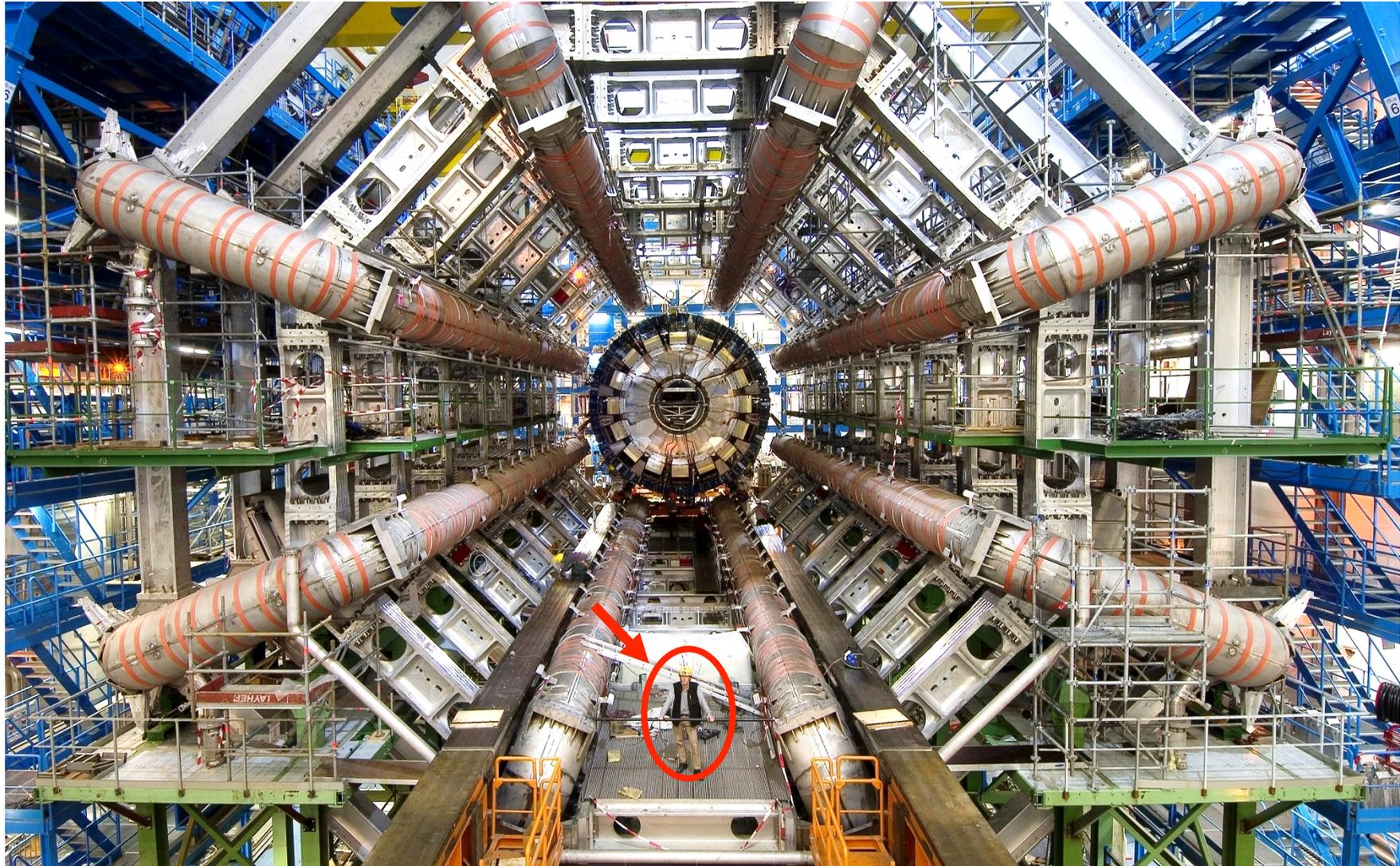
LHCb

- ❑ Atlas e CMS
 - ❑ Cosiddetti *General Purpose Detector* → sono in grado di eseguire una varietà di misure in molti settori diversi, in particolare sono dedicati alla ricerca del bosone di Higgs e alla rivelazione di eventuali nuove particelle di alta massa (ad es. Supersimmetria)
- ❑ Alice
 - ❑ L'esperimento è dedicato allo studio delle collisioni di ioni pesanti (ad esempio urti di nuclei di piombo) ad altissima energia, ed è pensato per studiare il plasma di quark e gluoni che si crea nell'urto → condizioni di densità di energia molto simili ai primissimi istanti di vita dell'Universo dopo il Big Bang
- ❑ LHCb
 - ❑ È pensato per studiare con grande precisione le asimmetrie di comportamento tra materia e anti-materia con l'obiettivo di rispondere ad una delle domande fondamentali: per quale motivo l'Universo che osserviamo è costituito solo di materia mentre l'anti-materia sembra completamente scomparsa?

Una foto del rivelatore CMS durante la costruzione

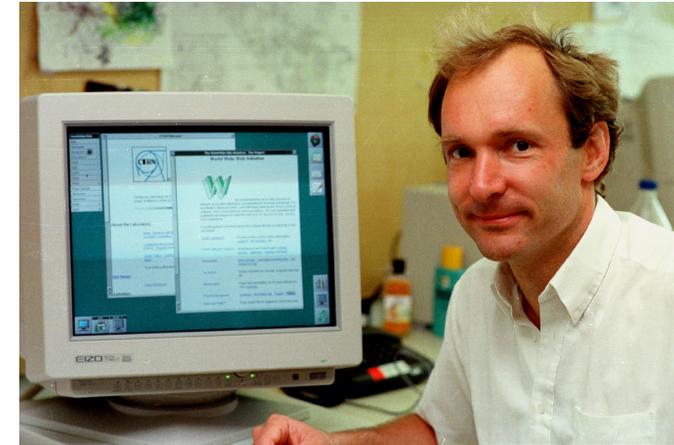


Una foto del rivelatore ATLAS durante la costruzione



Come funziona un rivelatore



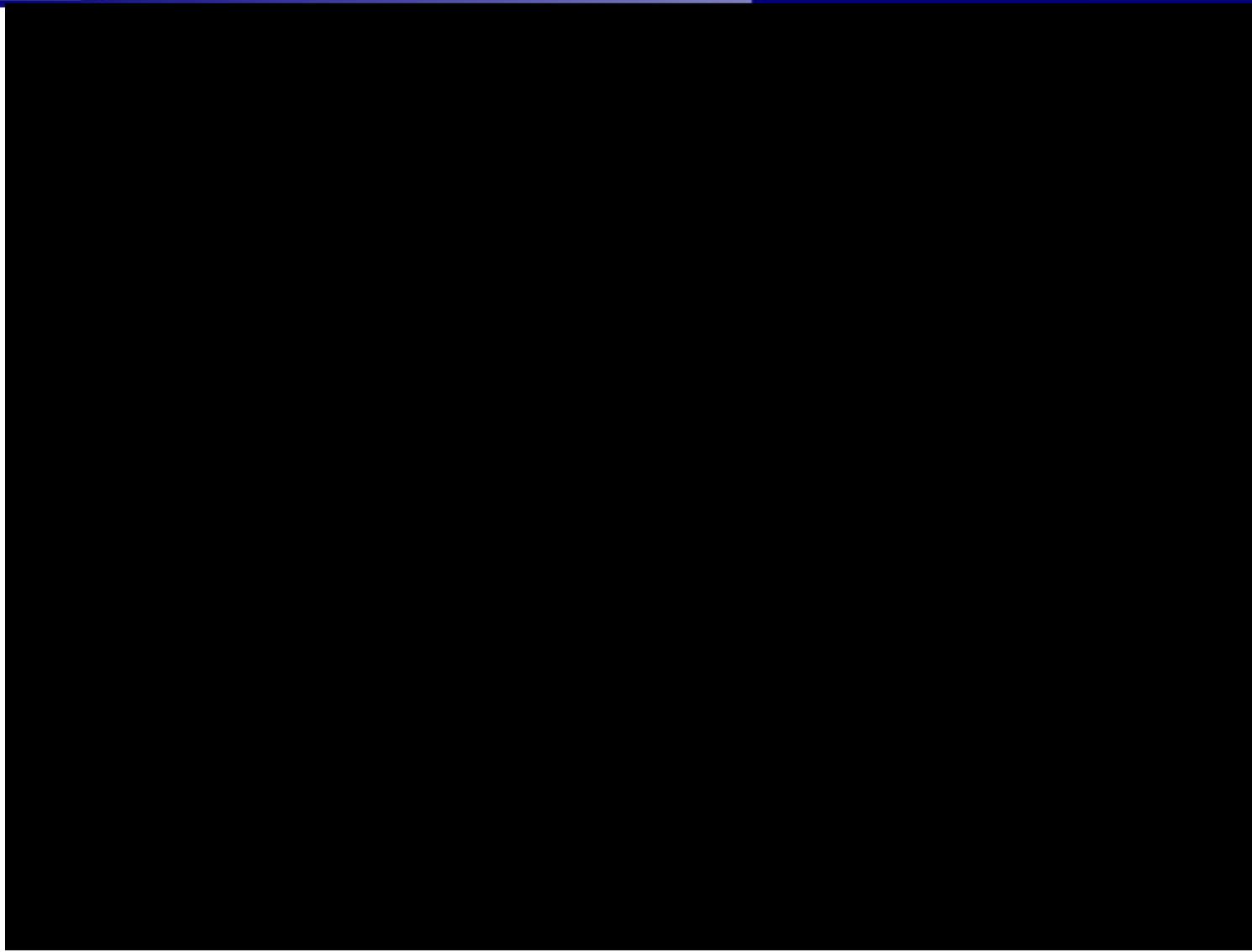


Condividere l'informazione

Il progetto LHC computing GRID è un progetto finanziato anche dall'Unione Europea. L'obiettivo è fornire l'enorme potenza di calcolo necessaria per analizzare la straordinaria quantità di dati attesi dall'LHC



Condividere la potenza di calcolo

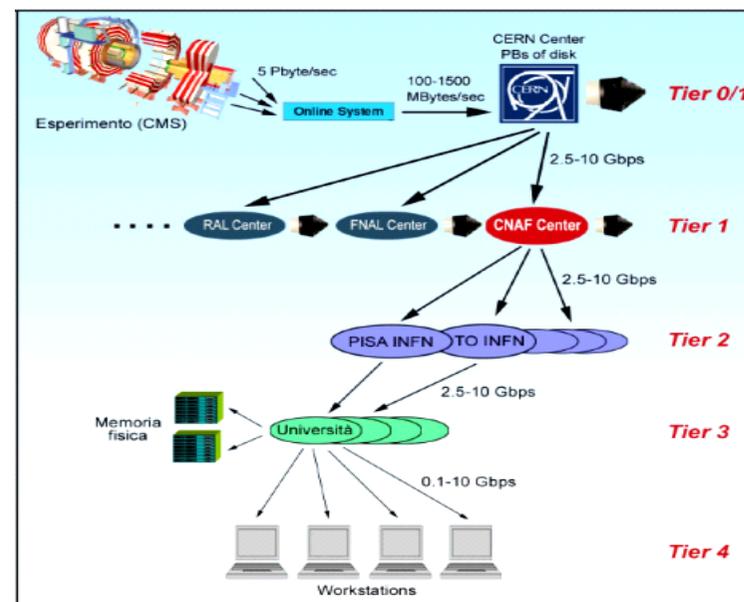
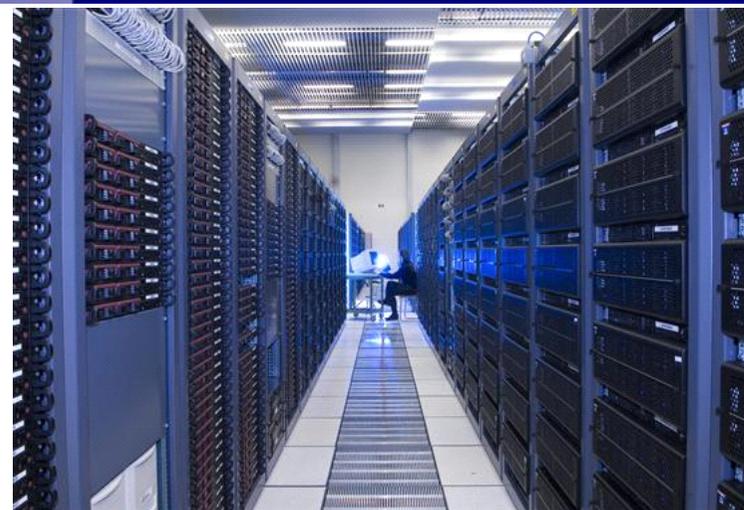


- ❑ I quattro esperimenti di LHC producono circa 15 *Petabyte* di dati all'anno (1 *Petabyte* corrisponde a un milione di *Gigabyte*), sufficienti per riempire annualmente qualcosa come 20 milioni di *Compact Disk*
- ❑ Se volessimo memorizzare tutti i dati prodotti in un anno da LHC su dei *Compact Disk*, impilandoli potremmo costruire una colonna alta 20 km!
- ❑ I dati devono essere disponibili per qualcosa come 5.000 scienziati in 500 Istituti di ricerca e Università in ogni parte del mondo, e conservati per una quindicina di anni

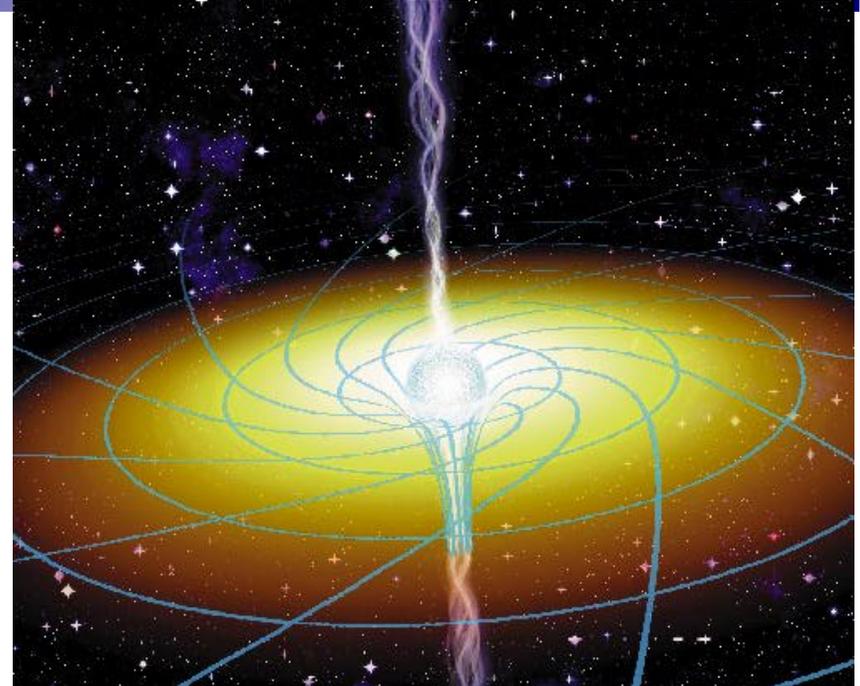


- ❑ I dati degli esperimenti sono acquisiti al CERN, e poi trasferiti secondo un modello gerarchico su più strati in tutto il mondo
- ❑ Dopo una prima fase di processo al CERN essi sono spediti ai centri di calcolo più grandi, che sono situati in Canada, Francia, Germania, Olanda, Paesi Scandinavi, Regno Unito, Spagna, Stati Uniti, Taiwan, e ovviamente Italia

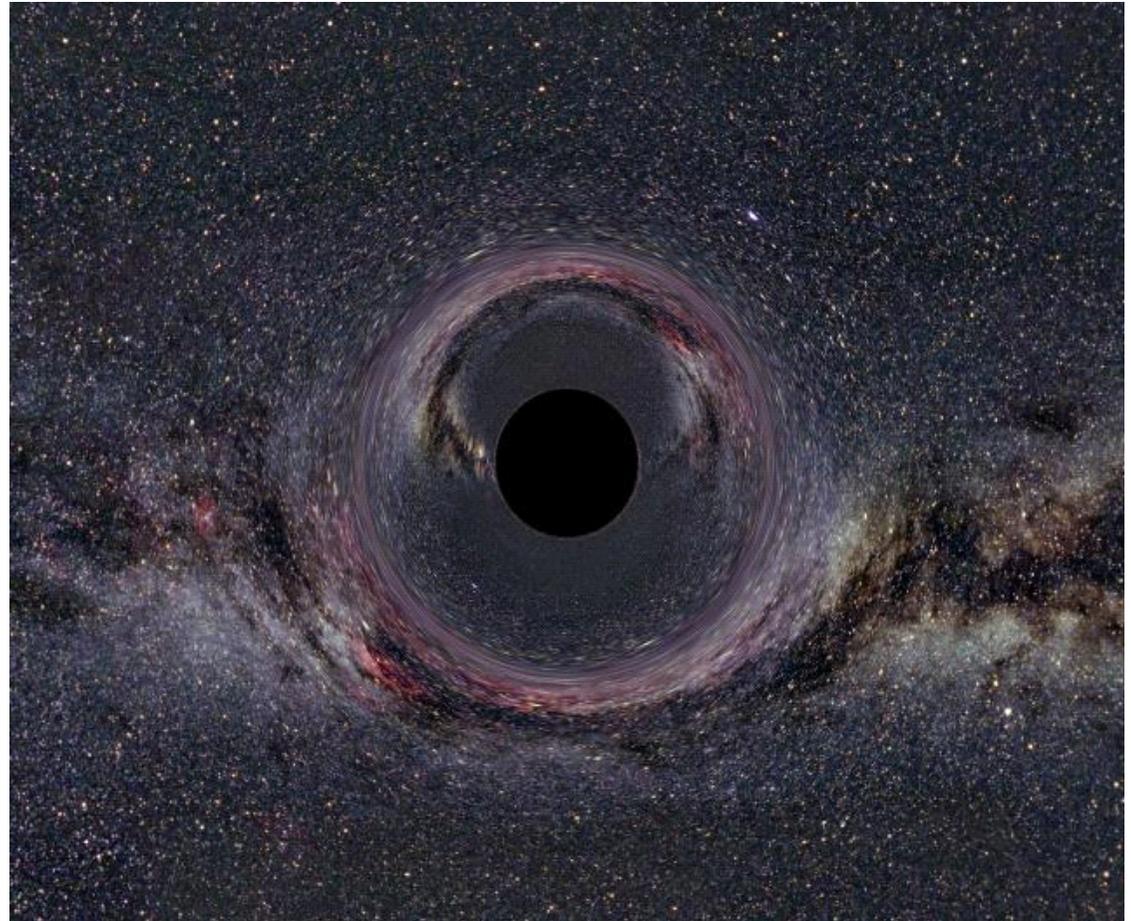
↳ In Italia, in particolare, il centro di calcolo si trova a Bologna, presso una struttura dell'INFN appositamente delegata alle tecnologie informatiche, denominata **CNAF**



- ❑ Il collasso gravitazionale di una stella può produrre un buco nero
- ❑ Un buco nero non è altro che una regione sferica di spazio caratterizzata dal fatto che la grande quantità di materia posta al suo centro è in grado di curvare lo spazio-tempo, al punto da separare causalmente lo spazio interno alla sfera del buco nero da quello esterno
- ❑ Il buco nero non è un oggetto materiale esteso (la materia è tutta concentrata in un punto privo di dimensioni posto al centro della sfera), bensì una regione di spazio vuoto avente la caratteristica di non consentire ad alcun oggetto materiale eventualmente penetrato al suo interno (comprese le onde elettromagnetiche, quindi la luce visibile) di poterne più uscire.

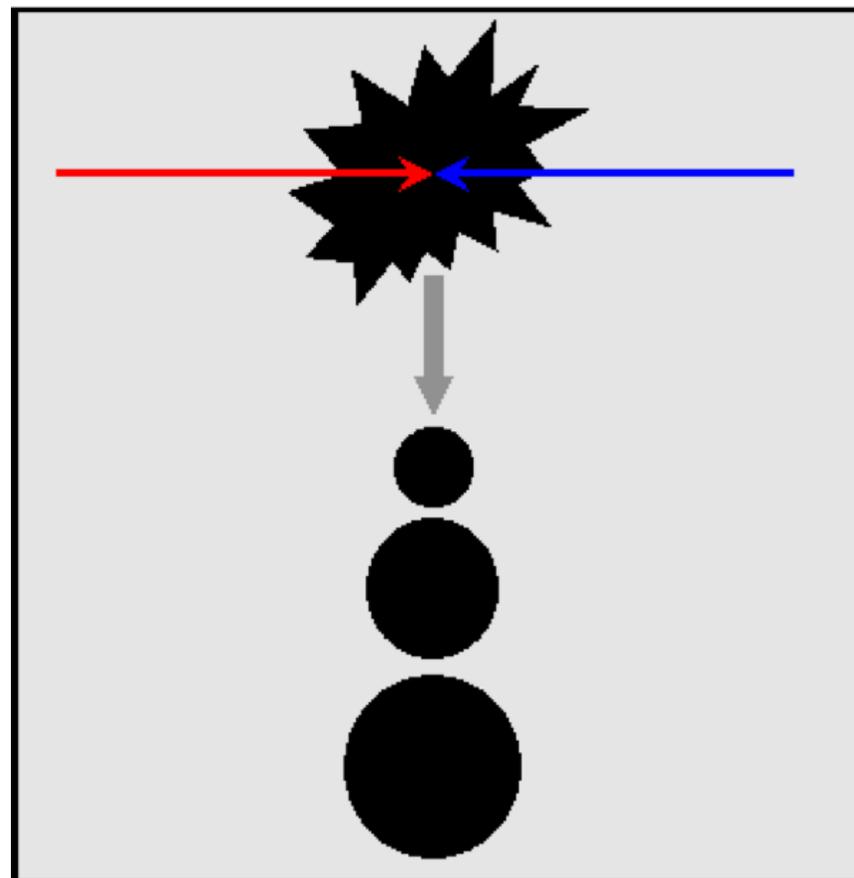


- ❑ Ricostruzione al computer di come si presenterebbe un buco nero se potessimo sufficientemente avvicinarci ad esso
- ❑ Si riconosce la sfera scura del buco nero e la distorsione della luce che passa nelle sue prossimità, causata dall'intenso campo gravitazionale che curva lo spazio-tempo



- ❑ Ma se il buco nero è un oggetto astronomico ben noto, cosa c'entra con LHC?

- ❑ Un buco nero può anche generarsi in un urto tra particelle ultrarelativistiche, a patto che l'energia all'interno di un certo volume di spazio sia sufficientemente elevata
- ❑ Ma elevata quanto? Parliamo di 10 milioni di miliardi di volte in più rispetto all'energia messa in gioco da LHC
- ❑ Ma ciò è vero in base a quanto conosciamo. Modificando opportunamente la teoria attuale è possibile costruire *ad hoc* nuove teorie in cui micro buchi neri possono generarsi anche alle energie in gioco a LHC
- ❑ I micro buchi neri a LHC sono quindi oggetti ipotetici che si potrebbero generare solo se una delle tante teorie alternative che descrivono l'interazione gravitazionale fosse corretta

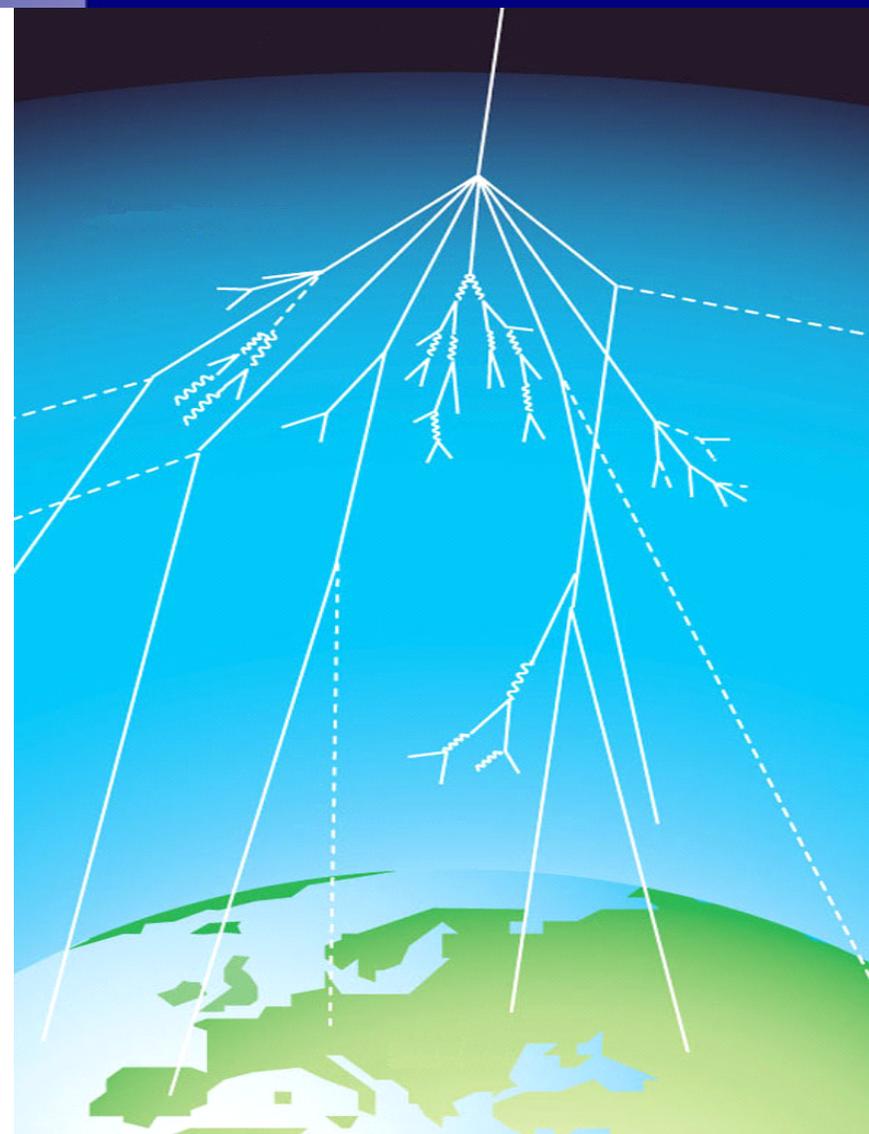


Il micro buco nero potrebbe quindi ingrandirsi assorbendo la materia circostante, fino ad inghiottire tutta la terra

Un video terrorizzante...

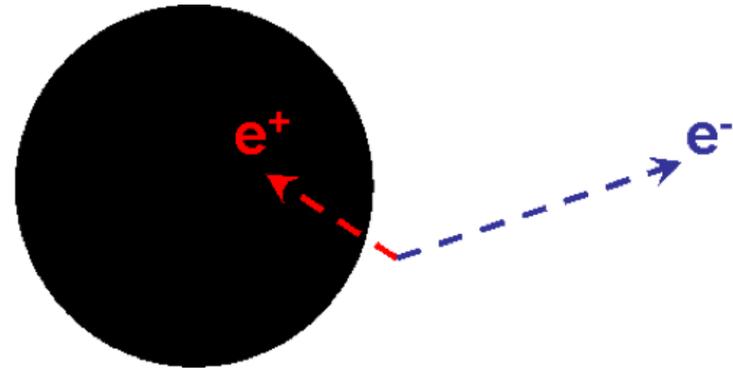


- ❑ Utilizzando in modo quantitativo le osservazioni sperimentali sulle energie dei raggi cosmici è possibile dimostrare che la Natura ha già eseguito, dalla formazione della Terra ad oggi, l'equivalente di un centinaio di migliaia di interi programmi sperimentali di LHC e la Terra è ancora qui
- ❑ Se consideriamo una stella come il Sole, essendo la sua superficie circa 10.000 volte più grande di quella della Terra possiamo stimare che la Natura ha eseguito sul Sole l'equivalente di 1 miliardo di esperimenti come LHC, senza che nessun buco nero lo abbia inghiottito.
- ❑ Non esiste alcun rischio di distruzione della Terra da parte di un buco nero...

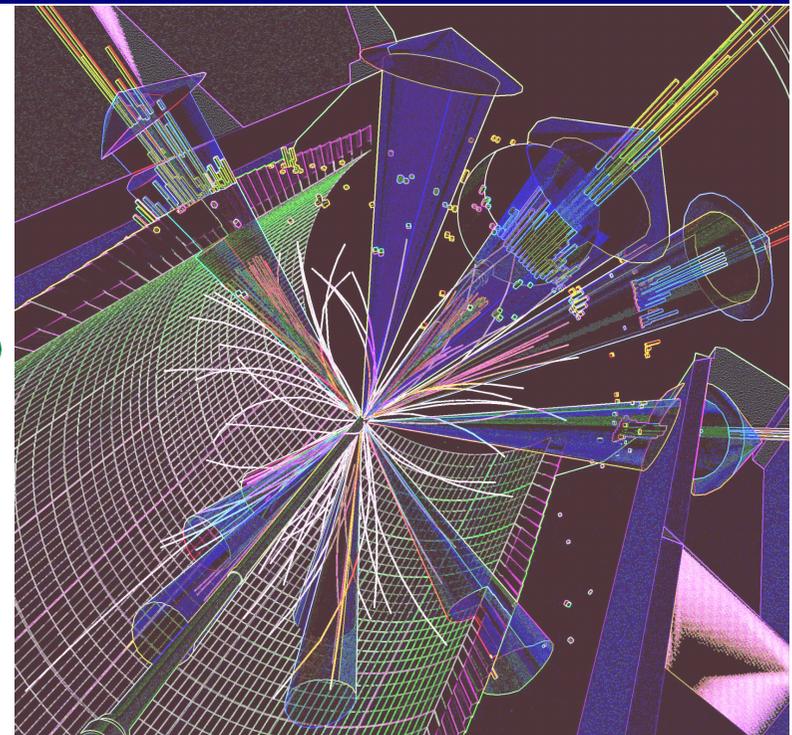
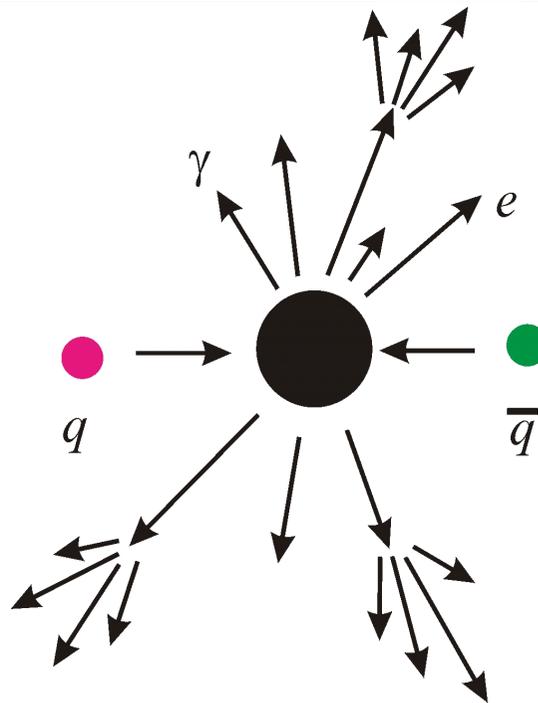


Nemmeno i buchi neri sono completamente neri...

- ❑ Secondo la teoria introdotta per la prima volta dal celebre fisico britannico Stephen Hawking, i buchi neri non sono oggetti stabili
- ❑ A causa di effetti quantistici avviene infatti che nella prossimità esterna della superficie sferica del buco nero si possono generare coppie virtuali particella-antiparticella, e può accadere che una delle due venga assorbita dal buco nero, mentre l'altra fugge via all'infinito
- ❑ Dal punto di vista di un osservatore esterno è come se il buco nero emettesse delle particelle, perdendo parte della sua massa. Questo fenomeno prende il nome di radiazione (o evaporazione) di Hawking: in sostanza il buco nero non è veramente nero, persino lui emette delle radiazioni!



- Nel caso di un buco nero astronomico generato dal collasso di una stella, la massa è molto elevata e l'evaporazione avviene con molta lentezza: per perdere tutta la sua massa un po' alla volta un buco nero ordinario necessiterebbe di tempi lunghissimi



- Nel caso di un micro buco nero invece, la sua massa è estremamente piccola, e di conseguenza il buco nero scomparirebbe per evaporazione nel giro di un battibaleno, emettendo un fiotto di particelle
- Questo fiotto di particelle sarebbe quindi registrato dai rivelatori di particelle che operano a LHC, e noi sapremmo che dei buchi neri sono stati effettivamente generati

- ❑ Per il mondo della scienza questa è dunque una fase di grande emozione e speranza, non di autodistruzione...
- ❑ Sono finalmente partiti dopo un paio di decenni di lavoro gli esperimenti che potranno rivelare finalmente all'uomo l'origine e l'essenza della materia, o come minimo rendere possibile un significativo avvicinamento verso questo scopo ambizioso.
- ❑ All'alba di un nuovo viaggio di scoperta, i fisici delle particelle di tutto il mondo hanno un sogno. Per tradurlo in parole, useremo le frasi pronunciate da Abdus Salam, Premio Nobel per la Fisica: "Credo che le nostre teorie attuali siano solo una fase di transizione verso un'armonia interna e una profonda simmetria universale. [...] Quando scopriremo la vera natura delle particelle elementari, rimarremo ammirati di come esse si inquadrino perfettamente nel grande schema e di come siano parte integrante di qualcosa di più profondo e più trascendente. La fede nell'armonia interna della natura è sempre stata ricompensata in passato, e sono sicuro che continuerà ad esserlo in futuro."

Grazie per l'attenzione