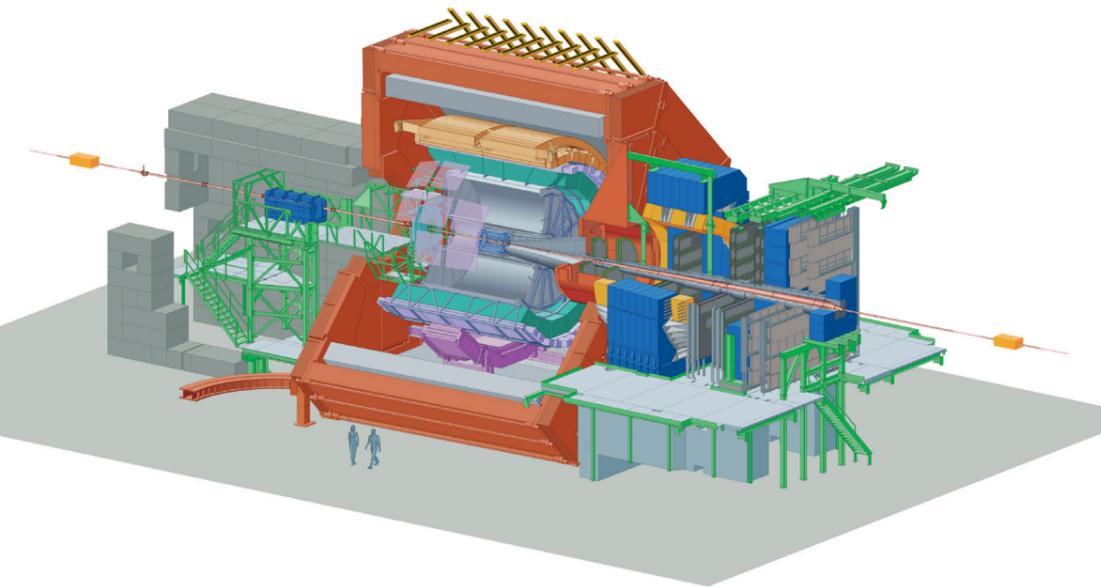


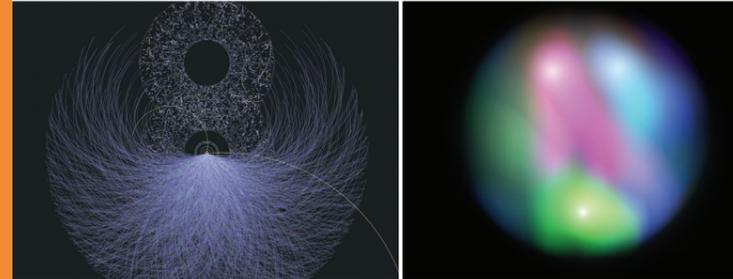
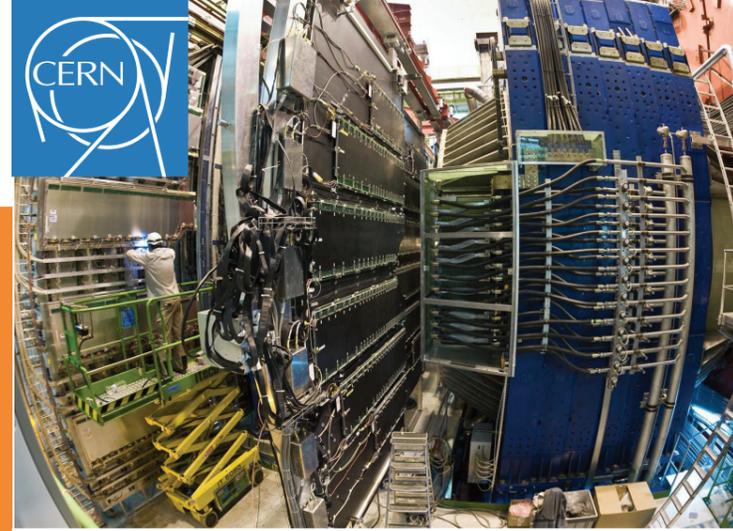
## Il rivelatore ALICE



ALICE è un esperimento gigantesco (16 m di altezza e larghezza, 26 m di lunghezza) composto da 18 sotto-sistemi, in grado di rivelare le decine di migliaia di particelle prodotte in ogni collisione, registrando fino a 8000 eventi di collisione ogni secondo.

ALICE utilizza tecnologie di punta:

- sistemi ad alta precisione per la rivelazione ed il tracciamento delle particelle;
- sistemi ultra-miniaturizzati per processare i segnali elettronici;
- risorse di calcolo distribuite su scala mondiale per l'analisi dei dati (progetto Grid).



## Una collaborazione internazionale



ALICE conta più di 1000 collaboratori (di cui circa 200 studenti post-laurea), provenienti da 105 istituti di ricerca dislocati in 30 paesi attraverso quattro continenti. Per costruire ed operare un esperimento di queste proporzioni è indispensabile poter disporre di un largo ventaglio di capacità tecniche.

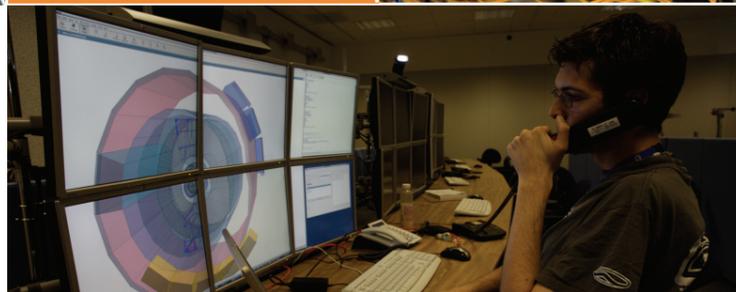


Foto:  
 Copertina  
 Galassia: NASA, ESA, CXC e JPL-Caltech  
 Pagina centrale  
 Sfondo: T.A. Rector (NOAO/AURA/NSF) e Hubble Heritage Team (STScI/AURA/NASA)  
 Stelle: J. Hester e P. Scowen (Arizona State University), NASA/ESA/STScI  
 Galassia: Christopher Burrows, NASA/ESA/STScI  
 Struttura atomica: André-Pierre Olivier  
 Foto di ALICE: Antonio Saba e CERN

## L'esperimento Alice

# ALICE

Un viaggio verso l'origine dell'Universo...

Cosa accade alla materia quando viene riscaldata ad una temperatura 100 000 volte più alta di quella presente al centro del Sole?

Perché la massa di un protone è 100 volte superiore a quella dei quark che lo compongono?

È possibile liberare i quark contenuti all'interno dei protoni?

...l'esperimento ALICE cerca di rispondere a queste domande usando lo straordinarie possibilità offerte dall'LHC (Large Hadron Collider), l'acceleratore di particelle più grande (27 km di circonferenza) e più potente del mondo...

Il CERN, Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare, è stato fondato nel 1954 ed è diventato un modello di collaborazione internazionale. Situato sul confine franco-svizzero presso Ginevra, è il laboratorio di fisica delle particelle più grande del mondo. L'organizzazione conta attualmente 20 stati membri.



CERN  
 Organizzazione Europea per la  
 Ricerca Nucleare  
 CH-1211 Ginevra 23

Gruppo Comunicazione, agosto 2008  
 CERN-Brochure-2008-012-Ita



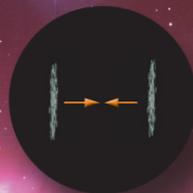


Atomo

Nucleo

Protone o Neutrone

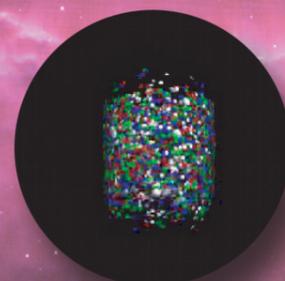
Due nuclei si avvicinano ad una velocità prossima a quella della luce (secondo la teoria della relatività di Einstein appaiono come dischi assottigliati).



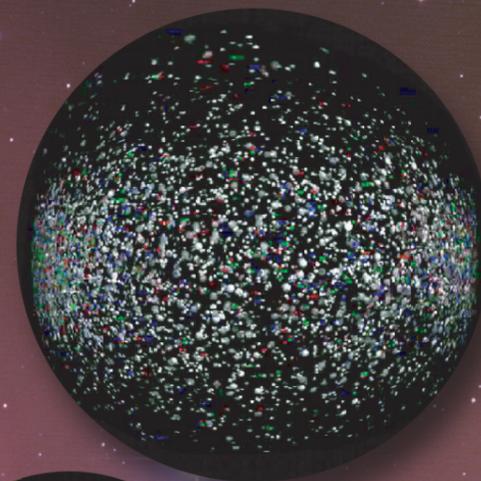
I nuclei si scontrano. La temperatura estrema generata nella collisione permette di rilasciare i quark (qui colorati in rosso, blu e verdi) e i gluoni.



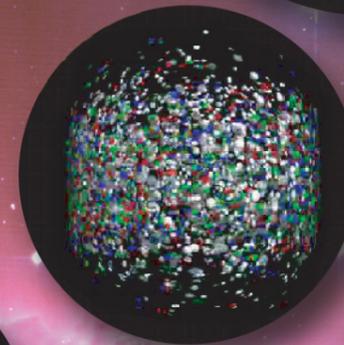
I quark e i gluoni cominciano a urtare fra loro, dando origine ad un sistema in equilibrio termico: il Plasma di Quark e Gluoni.



Le migliaia di particelle create nella collisione si muovono verso i sistemi di rivelazione. (Simulazione: H. Weber, UrQMD, Francoforte).



Il plasma si espande e si raffredda fino alla temperatura (~ $2 \times 10^{12}$  gradi) alla quale i quark e i gluoni si ricombinano a formare materia ordinaria, in un tempo dell'ordine di  $10^{-23}$  secondi dall'inizio della collisione.



## Interazione forte

La materia ordinaria è fatta di atomi, ognuno dei quali è formato da un nucleo circondato da una nuvola di elettroni. I nuclei sono costituiti da protoni e neutroni, a loro volta costituiti da quark. Per quanto ne sappiamo oggi, i quark sembrano essere costituenti elementari.

I quark vengono trattenuti all'interno di protoni e neutroni da una forza nota sotto il nome di "Interazione Forte", dovuta allo scambio di particelle chiamate gluoni. L'interazione forte è anche responsabile per il legame tra protoni e neutroni all'interno del nucleo atomico.

Sebbene la fisica dell'Interazione Forte sia oggi in buona parte compresa, restano da elucidare due fenomeni fondamentali: il confinamento ed il meccanismo di generazione della massa. Si ritiene che entrambi abbiano a che fare con modifiche delle proprietà del vuoto dovute all'azione dell'Interazione Forte.

## Confinamento

Non si è mai riusciti ad osservare un quark isolato: i quark, così come i gluoni, sembrano essere permanentemente legati fra loro e confinati dentro particelle composite, come i protoni e i neutroni. Il meccanismo esatto all'origine di questo fenomeno – chiamato confinamento – rimane sconosciuto.

## Generazione della massa

Si sa che i protoni, così come i neutroni, sono costituiti da tre quark. Sommando però i valori delle masse dei tre quark si arriva appena all'1% circa della massa di un protone o di un neutrone. Da dove viene il restante 99%?

Il meccanismo che confina i quark all'interno di protoni e neutroni sarebbe quindi anche responsabile della generazione della maggior parte della massa dei costituenti del nucleo (e quindi, visto che la massa degli atomi è essenzialmente concentrata nei nuclei, della maggior parte della massa della materia ordinaria?)

## Liberi tutti

La teoria delle interazioni forti (chiamata Cromo-Dinamica Quantistica, QCD) predice che in condizioni estreme di densità e temperatura la materia passi ad un nuovo stato, chiamato Plasma di Quark e Gluoni (QGP), in cui i quark e i gluoni – normalmente confinati all'interno di particelle composte come protoni e neutroni – siano liberati.

Tale transizione dovrebbe aver luogo quando la temperatura eccede un valore critico per il deconfinamento, che è stimato essere dell'ordine di 2000 miliardi di gradi. Per incontrare temperature così elevate (circa 100 000 volte più alte di quelle raggiungibili al centro del Sole) bisogna risalire ai primi istanti di vita dell'Universo. Si pensa che la temperatura sia stata al di sopra del valore critico per il deconfinamento solo per pochi milionesimi di secondo immediatamente dopo il Big Bang, e che l'Universo fosse allora effettivamente in uno stato di Plasma di Quark e Gluoni.

## Ritorno alle origini

È possibile studiare sperimentalmente tale scenario? È possibile ricreare in laboratorio tali condizioni estreme?

Tramite collisioni frontali di nuclei pesanti (ad esempio nuclei di piombo) accelerati nell'LHC a velocità prossime a quella della luce dovrebbe essere possibile formare (seppure su un volume minimo, confrontabile con quello di un nucleo atomico, e per un istante infinitesimo) delle "gocce" di tale materia primordiale ed osservarle mentre, espandendosi e raffreddandosi, si trasformano nuovamente in materia ordinaria.

Studiando questi eventi prodotti all'LHC, ALICE dovrebbe essere in grado di esplorare in profondità la fisica del confinamento, di sondare le proprietà del vuoto, di elucidare il meccanismo di generazione della massa nell'interazione forte, e di fornire un'idea di come si comportasse la materia immediatamente dopo il Big Bang.



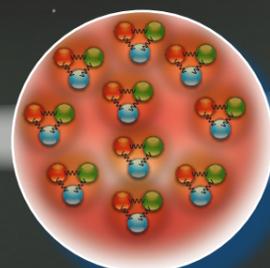
Big Bang

Temperatura  
Tempo



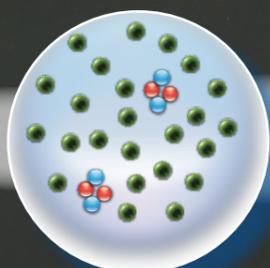
Plasma di Quark e Gluoni

$< 10^{-5}$  s



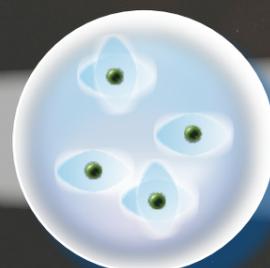
Formazione di protoni & neutroni

$2 \times 10^{12}$  K  
 $4 \times 10^{-5}$  s



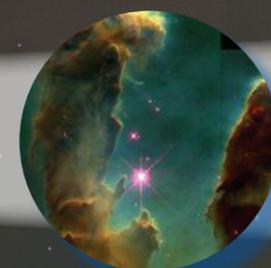
Formazione di nuclei a basso numero atomico

$5 \times 10^9$  K  
3 min



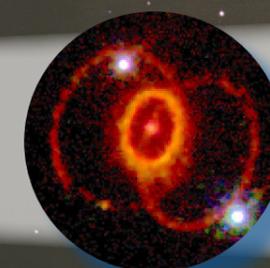
Formazione di atomi neutri

$10^3$  K  
380 000 anni



Stelle di prima generazione

25 K  
 $2 \times 10^8$  anni



Galassie, stelle di seconda generazione

$< 25$  K  
 $< 2 \times 10^8$  anni



Oggi

2.7 K  
13.5 miliardi di anni

# ATLAS

La mappatura dei segreti dell'universo

**ATLAS in numeri**

100m profondità del tunnel  
7000t peso del rivelatore  
ATLAS

27km circonferenza del tunnel LHC  
3000km lunghezza dei cavi e delle fibre all'interno del rivelatore ATLAS

1 miliardo numero di collisioni protone-protone ogni secondo

10 miliardi di km distanza percorsa da un fascio nell'anello LHC, pari al doppio della distanza Terra-Nettuno

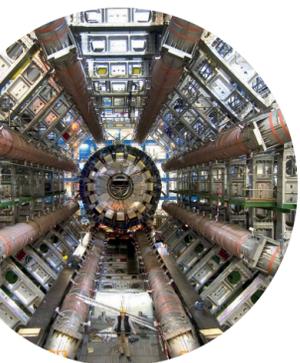
13TeV (teraelettronvolt) massima energia possibile di una collisione protone-protone all'interno del rivelatore ATLAS

46m lunghezza 25m diametro: Dimensioni ATLAS

2808 numero massimo di pacchetti di protoni all'interno di ciascun fascio

120 miliardi numero di protoni all'interno di ciascun fascio

11,245 giri al secondo fatti nell'anello LHC da un protone del fascio



## L'Esperimento

ATLAS è uno dei **quattro maggiori esperimenti** del Large Hadron Collider al CERN. È un esperimento plurivalente di fisica delle particelle, condotto da una collaborazione internazionale e, insieme al CMS, destinato a sfruttare a pieno il potenziale di scoperta e l'ampio spettro di opportunità fisiche che LHC fornisce.

L'esplorazione scientifica di ATLAS utilizza misure di precisione per allargare i margini della conoscenza cercando le risposte a **domande fondamentali** come: Quali sono i costituenti fondamentali della materia? Quali sono le forze fondamentali della natura? C'è una simmetria più grande alla base del nostro universo?

I fisici di ATLAS testano le predizioni del **Modello Standard**, che incorpora la nostra conoscenza attuale sui costituenti fondamentali della materia e su come interagiscono. Questi studi possono portare a scoperte rivoluzionarie, come quella del bosone di Higgs, fenomeni fisici non previsti dal Modello Standard e all'elaborazione di nuove teorie per meglio descrivere il nostro universo.

Gli anni che seguiranno saranno eccitanti, con ATLAS che porta la fisica sperimentale in **territori inesplorati** - magari con nuovi processi e particelle che potrebbero cambiare la nostra comprensione dell'energia e della materia.

## La Fisica

ATLAS esplora diverse tematiche fisiche, con l'idea di base di migliorare la nostra comprensione dei costituenti fondamentali della materia. Alcune delle **domande chiave** a cui ATLAS si interessa sono:

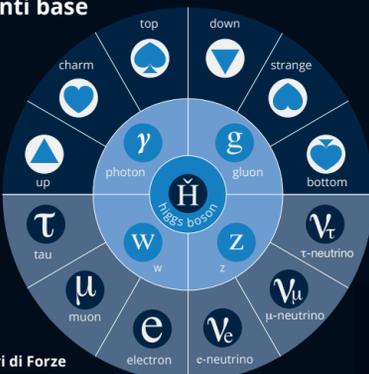
### Quali sono i costituenti base della materia?

Il Modello Standard descrive tutte le particelle subatomiche elementari sperimentalmente osservate nell'universo. ATLAS studia queste particelle e ne cerca altre per determinare se le particelle che conosciamo siano effettivamente elementari o se sono composte da altre più fondamentali.

FERMIONI - Materia

BOSONI - Trasportatori di Forza

Quark Leptoni Bosoni di Gauge Bosone di Higgs



### Com'era l'universo primordiale e come si evolverà?

Le collisioni protone-protone e quelle di ioni pesanti prodotte da LHC ricostruiscono le condizioni immediatamente seguenti al Big Bang, quando l'universo era governato dalla fisica delle particelle ad alta energia e successivamente da una zuppa primordiale di quark e gluoni, e consentono ad ATLAS di studiare problematiche fondamentali come il campo di Higgs o la Materia Oscura.

### Che cos'è la "Materia Oscura"?

Misure astronomiche supportano l'esistenza di materia che non può essere vista direttamente. ATLAS può osservare questa "materia oscura" cercando l'energia e la quantità di moto mancanti nelle collisioni protone-protone.

## La Collaborazione

La collaborazione ATLAS comprende **3000** ricercatori provenienti da più di **180** enti, che rappresentano **38** paesi da tutti i continenti. Questa è una delle più grandi imprese collaborative mai intraprese nella scienza. Quasi **1200** dottorandi sono coinvolti nello sviluppo del rivelatore, nella raccolta e nell'analisi dei dati. La collaborazione dipende dagli sforzi di innumerevoli ingegneri, tecnici e personale amministrativo.

La struttura organizzativa di ATLAS prevede un coordinatore eletto dalla collaborazione e squadre autogestite e il coinvolgimento diretto dei membri nel processo decisionale. Gli scienziati solitamente lavorano in piccoli gruppi, scegliendo le aree di ricerca e le misure che più li interessano. I risultati sono condivisi da tutti i membri della collaborazione e sono oggetto di rigorose revisioni e processi di controllo prima di essere resi pubblici. Il successo della collaborazione è spinto dalla dedizione dei singoli fisici e dalla prospettiva di eccitanti nuovi risultati che possono essere raggiunti solo mediante un lavoro compiuto e coerente.

L'unico modo per realizzare un tale impegnativo progetto, con le necessarie risorse intellettuali e finanziarie e massimizzando i risultati scientifici, è attraverso una collaborazione internazionale. La collaborazione ATLAS è finanziata tramite le agenzie di ricerca dei paesi membri, dal CERN e dalle università partecipanti.

## Il bosone di Higgs

Nel 1964, tre gruppi di fisici proposero separatamente un meccanismo per spiegare come i portatori dell'interazione nucleare debole - i bosoni W e Z - acquistano massa. La loro soluzione (il meccanismo BEH) implicava l'esistenza di una particella, ora denominata bosone di Higgs.

Il 4 luglio 2012, gli esperimenti del CERN ATLAS e CMS annunciarono di avere separatamente osservato una nuova particella, conforme al bosone di Higgs. François Englert e Peter Higgs furono premiati con il premio Nobel per la fisica nel 2013.

Ulteriori studi hanno mostrato che il bosone di Higgs interagisce sia con i bosoni che con i fermioni, supportando la predizione del modello standard secondo la quale tutte le particelle elementari acquisiscono massa mediante il campo di Higgs. Il bosone di Higgs è ora utilizzato dai fisici come strumento per cercare fenomeni dovuti a nuova fisica nelle collisioni ad alta energia dell'LHC.

### Cos'è successo all'antimateria?

Cercando eventuali squilibri nella produzione di materia e antimateria, si cerca di capire perché il nostro universo appare costituito solo da materia.

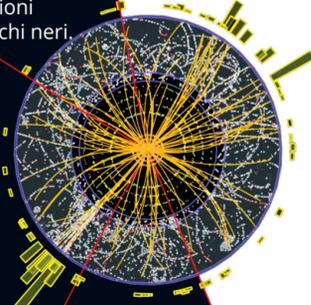
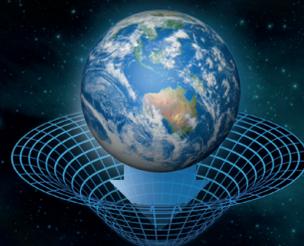
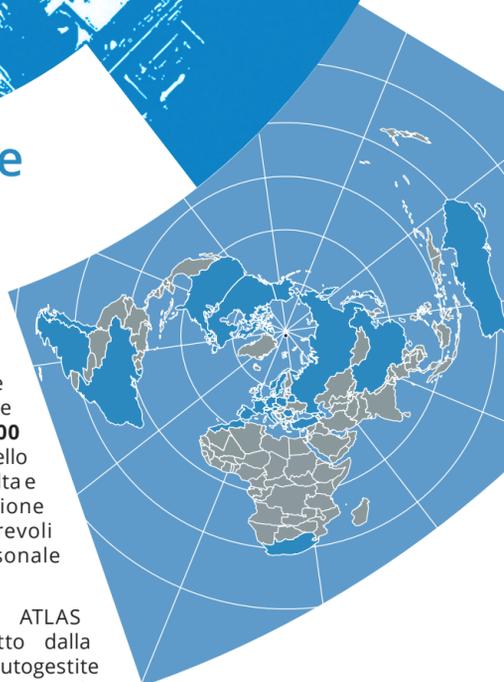
### Cosa c'entra la gravità?

La gravità è estremamente debole se confrontata alle altre forze su scala microscopica. Per spiegare la differenza cerchiamo di mettere in luce fenomeni fuori dall'ordinario, quali dimensioni supplementari, gravitoni e microscopici buchi neri.

### Qualcos'altro?

Forse l'aspetto più esaltante del programma di fisica di ATLAS è l'abilità di esplorare e scoprire nuovi fenomeni dietro le esistenti predizioni teoriche: la ricerca dell'ignoto.

ATLAS  
EXPERIMENT



# Il rivelatore ATLAS

ATLAS è il più grande rivelatore mai costruito per un collisore di particelle. Lungo 46m e con un diametro di 25m, è situato in una caverna a circa **100m di profondità**.

Il rivelatore è formato da sei differenti sottosistemi avvolti in strati concentrici intorno al punto di collisione per registrare la traiettoria, la quantità di moto e l'energia delle particelle, dando la possibilità di identificarle e misurarle singolarmente. Un enorme sistema magnetico piega i percorsi delle particelle cariche così che la loro quantità di moto possa essere misurata il più precisamente possibile.

Fasci di particelle che viaggiano a energie fino a 7 milioni di miliardi di elettronvolts nell'anello LHC, o fino al **99.9999991%** della velocità della luce, collidono al centro del rivelatore ATLAS, producendo nuove particelle che schizzano dal punto di collisione in ogni direzione.

Oltre un miliardo di interazioni tra particelle avvengono nel rivelatore ATLAS ogni secondo, un tasso pari a quello di 20 chiamate telefoniche simultanee fatte da ogni persona sulla Terra.

Solo una collisione su un milione è segnalata come potenzialmente interessante ed è registrata per ulteriori studi.

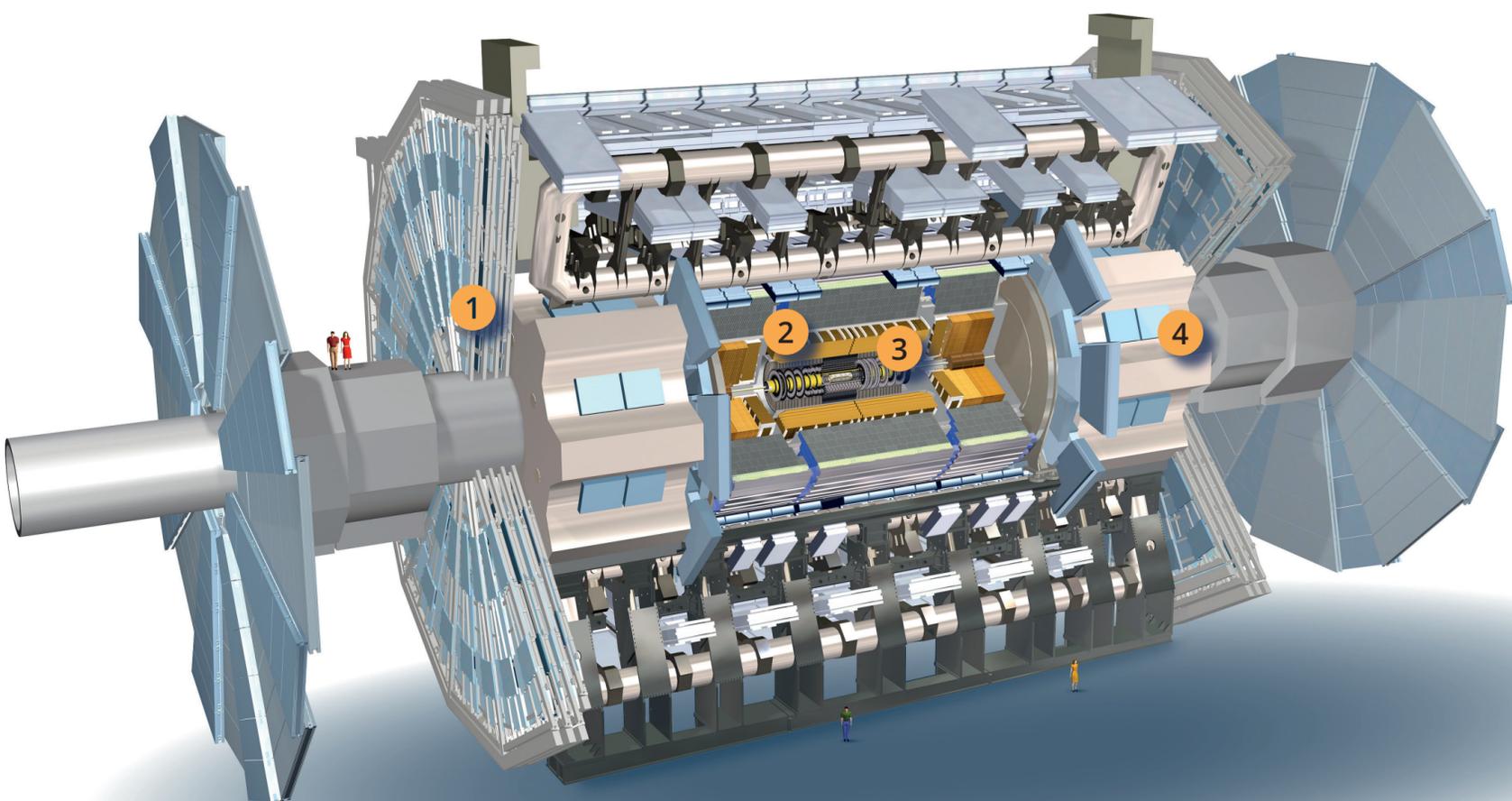
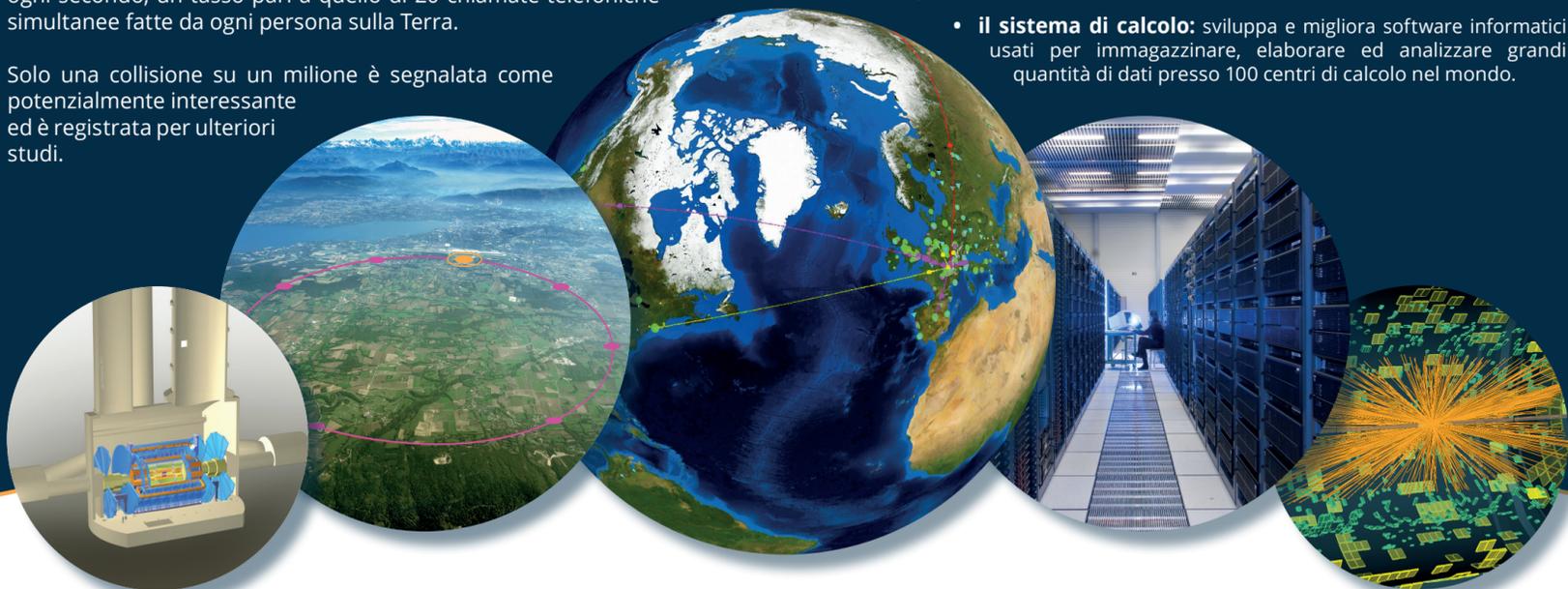
Il rivelatore traccia ed identifica particelle per investigare un'ampia porzione della fisica, dallo studio del bosone di Higgs e del quark top, alla ricerca di ulteriori dimensioni e di particelle che potrebbero costituire la materia oscura.

Le **quattro maggiori** componenti del rivelatore ATLAS sono:

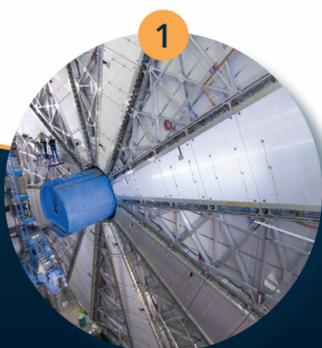
- il **Rivelatore Interno**: misura il momento di ogni particella carica
- il **Calorimetro**: misura l'energia delle particelle neutre e cariche
- lo **Spettrometro di Muoni**: identifica i muoni e ne misura il momento
- il **Sistema di Magneti**: fa curvare la traiettoria di ogni particella carica per permetterne la misura del momento

Alle componenti del rivelatore si aggiungono:

- il **trigger e sistema di acquisizione dati**: sistema informatico specializzato su più livelli, che seleziona eventi fisici con determinate caratteristiche
- il **sistema di calcolo**: sviluppa e migliora software informatici usati per immagazzinare, elaborare ed analizzare grandi quantità di dati presso 100 centri di calcolo nel mondo.



## I quattro principali componenti del rivelatore



### Lo Spettrometro per Muoni

identifica i muoni e ne misura la quantità di moto



### Il Calorimetro

misura l'energia delle particelle neutre e cariche



### Il Rivelatore Interno

misura la quantità di moto di ciascuna particella carica



### Il Sistema Magnetico

curva la traiettoria di ciascuna particella carica per permetterne la misura della quantità di moto

## Ricadute tecnologiche

La ricerca delle risposte alle domande fondamentali riguardo le proprietà della materia e le forze della natura necessita di ricerche e sviluppi di punta, che spesso portano a innovazioni tecnologiche. Ecco alcuni esempi di come le conoscenze di ATLAS e le innovazioni tecnologiche sono state applicate alla vita di ogni giorno:



### Immagazzinamento di energia magnetica super-conduttrice

La conoscenza di ATLAS sulla fabbricazione di bobine super-conduttrici potrebbe portare alla creazione di sistemi di immagazzinamento d'energia ad alte prestazioni.

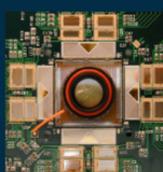
### Adroterapia

Sensori al diamante prodotti per l'upgrade del rivelatore ATLAS sono utilizzati per monitorare i fasci nell'adroterapia, i quali sono più efficaci dei raggi X o dei fasci elettronici nell'eliminare tumori risparmiando i tessuti sani intorno.



### Diagnostica medica per immagini

I sensori 3D al silicio sviluppati per l'upgrade di ATLAS rendono possibile la visualizzazione dei raggi X con una migliore risoluzione. Gran parte delle tecniche di diagnostica medica per immagini necessitano la rivelazione di fotoni in diversi intervalli energetici.

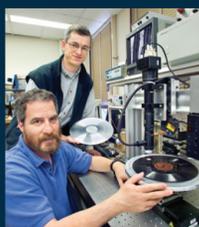
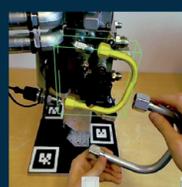


### Progetto retina

Basato sulla tecnologia del rivelatore a microstrisce al silicio usato da ATLAS, è stato sviluppato un sistema di registrazione di attività neuronale su larga scala. Gli esperimenti sono in grado di capire come i sistemi neuronali viventi elaborino e codifichino le informazioni. Questo potrebbe un giorno portare allo sviluppo di una vista artificiale per i ciechi.

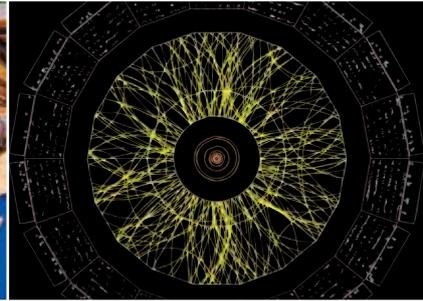
### Realtà aumentata

ATLAS sta studiando tecnologie innovative per il riconoscimento di forme, fondamentale nelle applicazioni di realtà aumentata, per permettere al personale coinvolto in delicate operazioni di manutenzione, di visualizzare virtualmente le procedure di lavoro, minimizzando il tempo di intervento e il rischio di errori. Questa tecnologia ha diverse applicazioni industriali.



### Riproduzione di suoni

I metodi di elaborazione di immagini ottiche usati per misurare e allineare ognuno dei 16000 rivelatori in silicio del tracciatore di ATLAS, possono essere applicati per misurare precisamente la forma delle scanalature in dispositivi meccanici di registrazione del suono quali dischi fonografici e cilindri di registrazione. Questa tecnologia è stata sviluppata per essere utilizzata negli archivi e nelle raccolte di registrazioni per ripristinare e preservare esemplari delicati o danneggiati e registrazioni storiche di suoni.



# CERN

Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare

## Ricerca

risposte a domande fondamentali sull'Universo  
di che cosa è fatto  
come è evoluto fino ad oggi?

## Riunisce

circa 10 000 scienziati da più di 110 Paesi;  
il CERN è un laboratorio per il mondo

## Spinge

i confini della tecnologia e dell'ingegneria

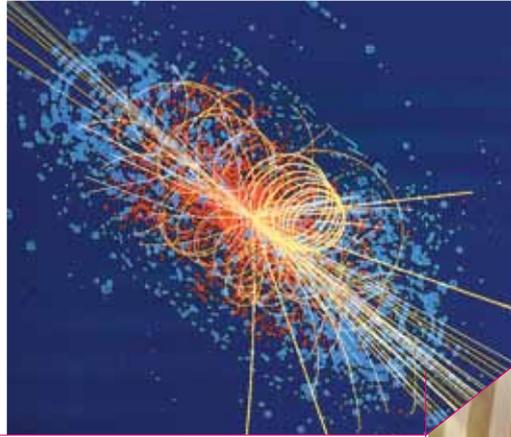
## Forma

i giovani scienziati e ingegneri che saranno gli esperti  
di domani

Il CERN (Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare) fu fondato nel 1954. Da allora è diventato un modello di collaborazione internazionale che conta oggi 20 stati membri. È il laboratorio di fisica delle particelle più grande del mondo e si trova a cavallo della frontiera franco-svizzera, nei pressi di Ginevra.



1954

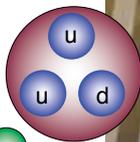


**Il CERN è un laboratorio dove gli scienziati collaborano per studiare i costituenti fondamentali della materia e le forze che li tengono insieme.**

I costituenti fondamentali della materia sono particelle minuscole, molto più piccole degli stessi atomi. Quattro tipi diversi di particelle elementari sono sufficienti a formare tutta la materia che ci circonda: il quark up, il quark down, l'elettrone e il neutrino dell'elettrone.



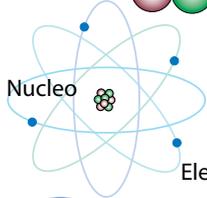
Quark



Protone



Neutrone



Nucleo

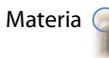
Elettrone



Atomo

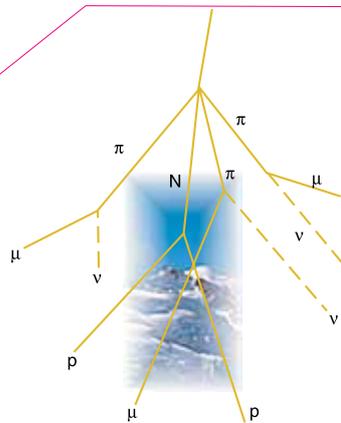


Molecola



Materia

In natura esistono altri tipi di particelle elementari, per esempio quelle presenti nei raggi cosmici. I raggi cosmici sono sciami invisibili di particelle generate quando altre particelle molto energetiche, provenienti dallo spazio profondo, entrano in contatto con l'atmosfera terrestre. In totale esistono dodici tipi di particelle che formano due grandi gruppi: i quark e i leptoni (particelle simili all'elettrone).



## Forze

Gravitazionale

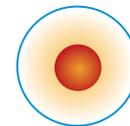
Debole

Elettromagnetica

Forte



Gravitone (?)



Bosoni W e Z



Fotone



Gluone

## Mediatori delle forze

Varie forze agiscono tra le particelle. La forza forte, la forza elettromagnetica e la gravità uniscono le particelle per formare strutture composte, dagli atomi invisibili alle immense galassie formate da milioni di stelle. La forza debole invece, trasforma particelle e atomi da un tipo ad un altro, come accade nelle reazioni nucleari che alimentano il sole.

Le forze stesse sono "mediate" da particelle che sono diverse da quelle che costituiscono la materia. Le particelle che "mediano" le forze esistono per un tempo brevissimo, quanto basta per trasmettere l'informazione da una particella di materia ad un'altra.

Entra in funzione il sincrociclotrone (SC), il primo acceleratore

Entra in funzione il sincrotrone a protoni (PS)

George Charpak inventa la camera a fili proporzionale (Premio Nobel nel 1992)

Entra in funzione il primo collisore di protoni, l'ISR

Scoperta delle cosiddette "correnti neutre", la prima conferma della teoria elettrodebole

Entra in funzione il Super Sincrotrone

1957

1959

1968

1971

1973

1976

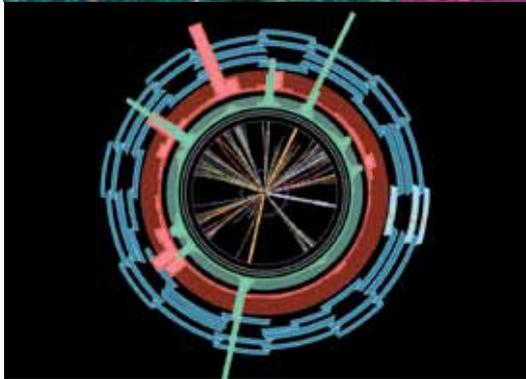
**Al CERN i fisici studiano la materia utilizzando gli acceleratori di particelle, macchine che accelerano i fasci di particelle fino a farli collidere l'uno contro l'altro oppure contro un bersaglio. Nelle collisioni, l'energia in gioco è molto grande e questo permette di ricreare in laboratorio condizioni simili a quelle esistenti pochi istanti dopo il Big Bang.**



Gli acceleratori utilizzano intensi campi elettrici per dare energia ai fasci di particelle e campi magnetici per guidare i fasci nella macchina. Gli acceleratori più grandi sono circolari. Al loro interno, le particelle sono guidate da campi magnetici. In questo modo le particelle possono acquistare ad ogni giro sempre più energia.



Al CERN è installata la macchina più potente mai realizzata finora, il Grande Collisore di Adroni, o LHC (dall'inglese Large Hadron Collider). Questa macchina è installata in un tunnel di 27 km di circonferenza costruito per ospitare la macchina precedente, il Grande Collisore di Elettroni e Positroni, o LEP (dall'inglese Large Electron Positron collider). Studiando le collisioni che avvengono ad energie mai raggiunte prima, i fisici faranno nuovi progressi nella comprensione dei misteri del nostro Universo.



I rivelatori di particelle registrano ciò che avviene quando le particelle collidono. Le collisioni ad alta energia producono molte nuove particelle. L'energia si trasforma in materia secondo l'equazione di Einstein,  $E=mc^2$ , dove E è l'energia, m la massa e c la velocità della luce.



I vari "strati" del rivelatore misurano le diverse proprietà delle particelle prodotte nelle collisioni. I rivelatori di traccia danno informazioni sul percorso delle particelle dal punto di collisione verso l'esterno del rivelatore. Altri strati, chiamati calorimetri, misurano l'energia delle particelle. Un magnete costruito intorno al centro del rivelatore, curva la traiettoria delle particelle cariche ed aiuta così ad identificare il tipo di particella.

...ione il  
...trone a Protoni (SPS)

Scoperta delle particelle W e Z. Premio Nobel a Carlo Rubbia e Simon van der Meer nel 1984

Entra in funzione il grande collisore di elettroni e positroni LEP; conferma l'esistenza di soli 3 tipi di neutrini

Tim Berners-Lee inventa il World Wide Web

Risultati sulla violazione di CP, una piccola differenza tra materia e antimateria

L'anti-idrogeno viene osservato per la prima volta

1983

1989

1990

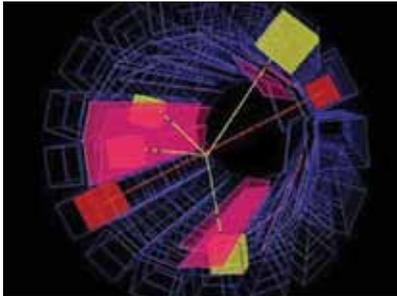
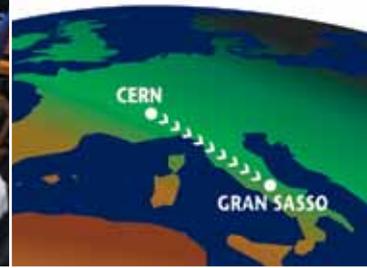
1993

1995

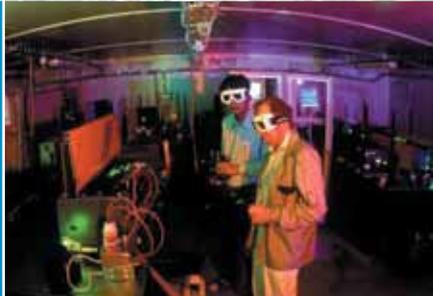
Il CERN è il centro di ricerca in fisica delle particelle più grande del mondo, con molti acceleratori interconnessi che forniscono molti tipi di particelle a diversi esperimenti.



Il CERN produce una grande varietà di fasci di particelle, compresi muoni ad alta energia per studiare la struttura del protone, ioni pesanti per creare nuovi stati della materia e fasci di ioni radioattivi per osservare nuclei esotici.



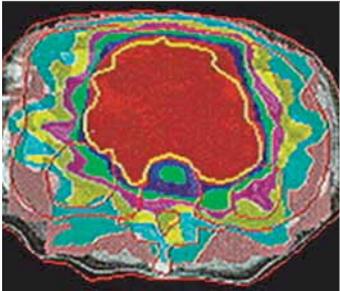
Il CERN produce anche fasci di antiparticelle che sono i costituenti dell'antimateria, una sorta di "immagine speculare" della materia ordinaria. Ci sono attualmente diversi esperimenti che studiano l'antimateria al CERN.



I fasci di neutrini sono stati importanti lungo tutta la storia del CERN. L'ultimo progetto consiste nell'inviare un fascio sotterraneo di queste particelle, che interagiscono molto debolmente, verso i laboratori del Gran Sasso (Italia) a 730 km di distanza.

Grazie ad una ricerca così avanzata, il CERN favorisce grandi progressi tecnologici. I risultati possono avere applicazioni molto vaste, dall'informatica alla scienza dei materiali.

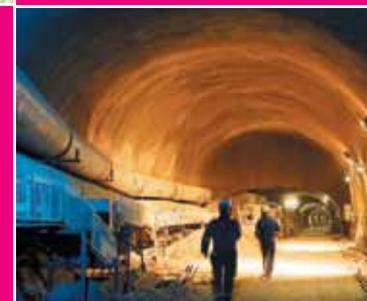
Il World Wide Web fu inventato al CERN per facilitare la comunicazione tra i fisici di tutto il mondo. Attualmente il CERN sta coordinando le attività per creare il Grid, una "griglia" di computer collegati a livello mondiale attraverso reti di comunicazione. Il Grid costituirà un'enorme potenza di calcolo.



I lavori di ingegneria per il CERN, in particolar modo nel campo della criogenia, della superconduttività, della tecnologia del vuoto, della microelettronica e dell'ingegneria civile, permettono alle aziende di acquisire un'esperienza che potranno poi utilizzare altrove.



I rivelatori di particelle inventati al CERN sono utilizzati in tecniche di diagnostica medica.



Inizia la costruzione del grande collisore di adroni LHC  
 Creazione di un nuovo stato della materia, il plasma quark-gluoni, esistito probabilmente nei primi istanti dell'universo  
 Primi risultati sugli atomi di anti-idrogeno  
 Prime collisioni nell' LHC



**CERN**  
 Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare  
 CH-1211 Ginevra, Svizzera  
[www.cern.ch](http://www.cern.ch)  
 Gruppo Comunicazione  
 Luglio 2012  
 CERN-Brochure-2010-005-Ita

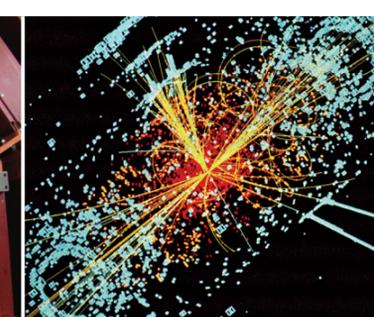


**L'esperienza CMS** è un rivelatore costituito da 100 milioni di singoli elementi attivi, ciascuno dei quali contribuisce alla ricerca di segnali di nuove particelle e nuovi fenomeni al ritmo di 40 milioni di volte al secondo. È uno degli strumenti scientifici più complessi e precisi mai costruiti. È situato a 100 metri di profondità vicino al paese francese di Cessy, al confine con la regione di Ginevra in Svizzera. Resterà in funzione per più di dieci anni.

**Dimensioni**  
14 000 tonnellate di peso  
21 metri di lunghezza  
15 metri di diametro

L'imponente mole di CMS cela al suo interno un'elevatissima complessità. Un tecnico assembla i componenti del tracciatore usando fili da 5 micron.

CMS è diviso in varie sezioni, pesanti fra 200 e 2000 tonnellate. Questi elementi vengono calati nella caverna prima di essere montati nella loro posizione definitiva.



**Un'avventura mondiale** Per risolvere alcuni dei misteri dell'Universo è necessario il coinvolgimento di scienziati, ingegneri e studenti di varie discipline. I diversi elementi di CMS sono stati realizzati in vari istituti ed industrie in tutto il mondo e poi trasportati al CERN per il montaggio finale. Anche l'analisi dei dati sarà un'impresa mondiale ed ha motivato innovazioni importanti nel settore informatico come la Grid.

# CMS

L'esperienza "Compact Muon Solenoid"

**Protoni e ioni pesanti collidono ad energie mai ottenute prima nel centro di CMS**

**Per ricreare**

in laboratorio le condizioni che erano presenti una frazione di miliardesimo di secondo dopo il Big-Bang

**Per cercare**

nuove particelle come il bosone di Higgs, le particelle supersimmetriche e il gravitone, e anche nuovi fenomeni quali i mini buchi neri e nuovi stati in cui la materia è molto densa e calda

**Per capire**

- perché il mondo è come è
- perché alcune particelle sono più pesanti di altre
- di cosa è fatta la materia oscura dell'Universo
- se lo spazio ha più di tre dimensioni
- le proprietà della materia nei primi istanti di vita dell'Universo quando era molto densa e calda
- se e come possiamo fare ulteriori progressi verso una teoria unificata in grado di spiegare tutti i fenomeni fisici

Solo i risultati degli esperimenti possono rivelare le leggi fondamentali della Natura. CMS è uno di questi esperimenti.

Un ricercatore ed uno studente del Dottorato di Ricerca lavorano insieme per connettere e collaudare l'elettronica di lettura di CMS.



Alcuni collaboratori riuniti nella sala di montaggio per festeggiare il completamento della costruzione di CMS nella sua versione iniziale.



CERN  
CH-1211 Ginevra, Svizzera

Gruppo Comunicazione,  
Settembre 2015  
CERN-Brochure-2015-009-Ita

**La collaborazione CMS**

**43 paesi, 191 istituti di ricerca  
Più di 2800 scienziati, fra cui circa 970 studenti**

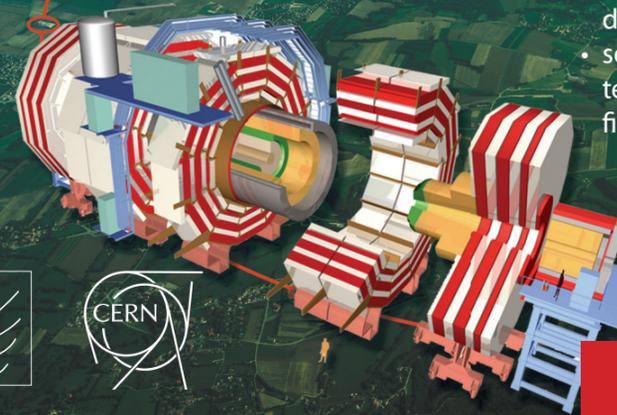
Per saperne di più su CMS visitate il nostro sito: <http://cms.cern.ch>



[www.cern.ch](http://www.cern.ch)



<http://cms.cern.ch>



## Il rivelatore e i ricercatori

CMS è un apparato tecnologicamente avanzato che comprende molti rivelatori, ciascuno progettato per realizzare un compito specifico. Tutti insieme questi rivelatori permettono ai ricercatori di CMS di identificare e misurare precisamente l'energia e la quantità di moto di tutte le particelle prodotte nelle collisioni dell'LHC (Large Hadron Collider - Grande Collisore per Adroni) del CERN.



### Calorimetro Elettromagnetico

È costituito da circa 80'000 cristalli scintillanti di tungstato di piombo ( $PbWO_4$ ) e serve a misurare con precisione l'energia di elettroni e fotoni. Un rivelatore a sensori di silicio serve a migliorare l'identificazione delle particelle nella parte in avanti.



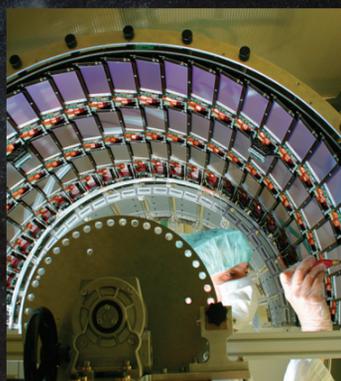
### Calorimetro Adronico

È costituito da strati di materiale denso (ottone o acciaio) alternati con strati di scintillatore plastico o fibre di quarzo e serve a misurare l'energia degli adroni, particelle costituite da quarks: protoni, neutroni, pioni, kaoni...



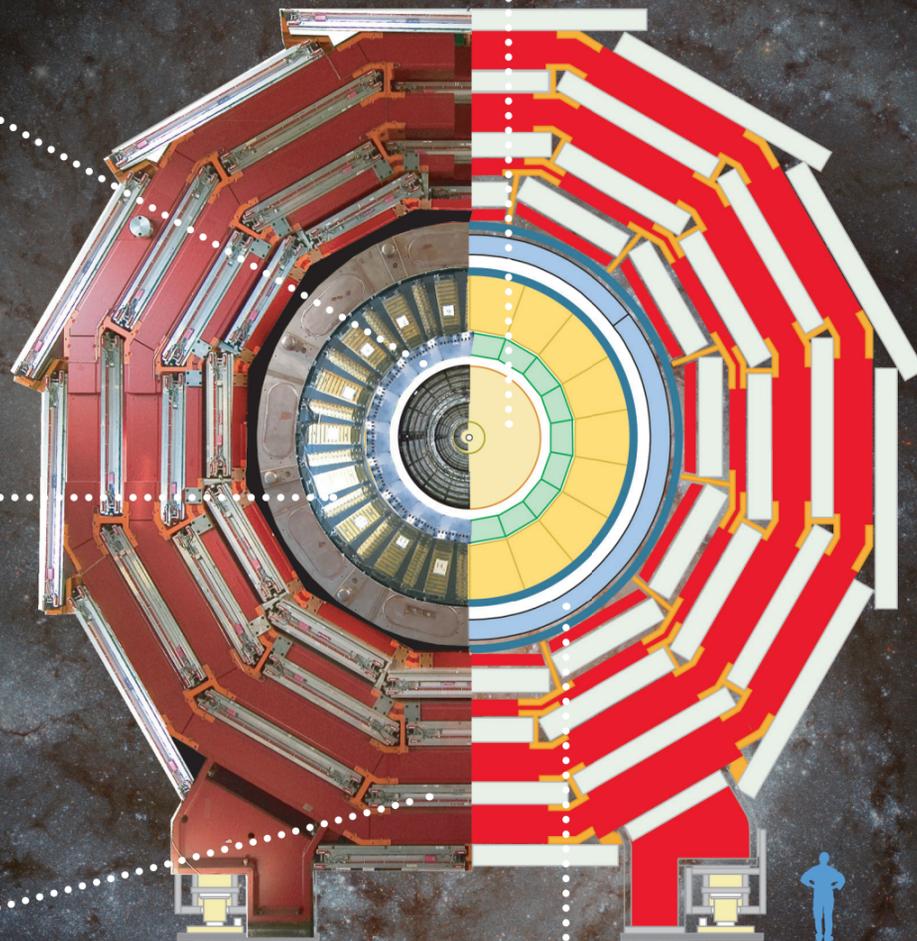
### Rivelatore per Muoni

Per identificare i muoni (particelle analoghe agli elettroni ma più pesanti), e per misurarne l'energia, CMS usa tre tipi di rivelatori: tubi a deriva, camere a strisce catodiche e camere a piani resistivi.



### Tracciatore

I sensori di silicio ad alta segmentazione (a strisce e a pixel) permettono di ricostruire tracce di particelle cariche e di misurarne l'impulso. Questi sensori servono anche a misurare la posizione in cui si disintegrano particelle instabili che hanno vita media lunga.

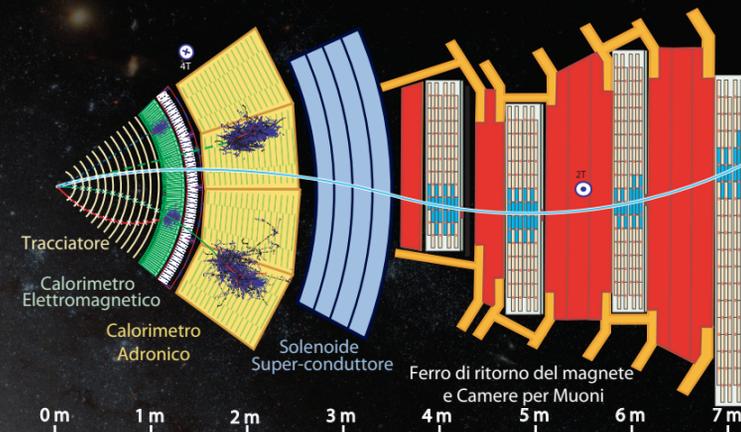


### Solenoidi superconduttore

Nella bobina superconduttrice di niobio-titanio di 13 metri di lunghezza e 6 metri di diametro, raffreddata a  $-270^\circ C$ , passa una corrente di 20'000 Ampere. La bobina genera un campo magnetico di 4 Tesla, 100'000 volte più forte del campo magnetico terrestre. Questo campo magnetico fa curvare le particelle cariche, permettendo così di distinguerle e di misurarne l'impulso.

## Identificazione delle particelle (Pattern Recognition)

Le nuove particelle che si cercano in CMS sono per lo più instabili e si disintegrano rapidamente in altre particelle più leggere, più stabili e già note. Quando attraversano CMS, le particelle rilasciano nei vari rivelatori dei segnali caratteristici che permettono di identificarle. Così si può dedurre la presenza o meno di un'eventuale nuova particella.



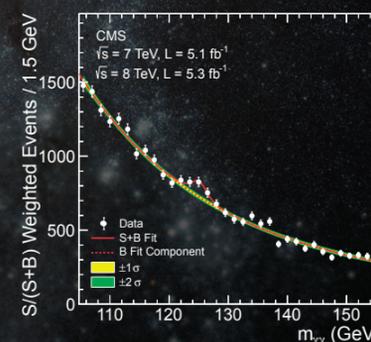
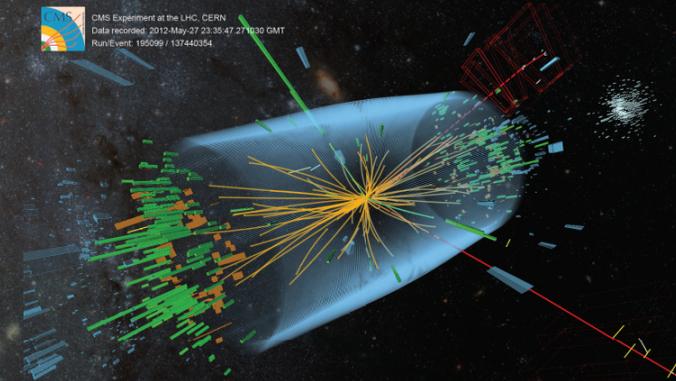
Legenda:

- Muone
- Elettrone
- Adrone Carico (per es. pione)
- - - Adrone Neutro (per es. neutrone)
- - - Fotone

## Sistema elettronico di accettazione degli eventi ("Trigger")

Per produrre un numero sufficiente di particelle rare, come il bosone di Higgs, i pacchetti di particelle dell'LHC si scontrano 40 milioni di volte al secondo. I segnali caratteristici delle particelle sono analizzati da un sistema elettronico velocissimo che permette di accettare solo quegli eventi che con buona probabilità contengono indicazioni di nuova fisica (circa 100 eventi al secondo), come ad esempio la particella di Higgs che si disintegra in due muoni e due elettroni nella figura qui sotto. In questo modo si riduce la quantità di eventi acquisiti ad un livello tale da permetterne la memorizzazione per un'analisi successiva più dettagliata.

CMS Experiment at the LHC, CERN  
Data recorded: 2012-May-27 23:35:47.271630 GMT  
Run/Event: 185099 / 137440354



## Analisi dei Dati

Fisici provenienti da tutto il mondo usano tecniche informatiche all'avanguardia (come ad esempio la rete "Grid") per selezionare, fra i milioni di eventi prodotti in CMS, quelli più interessanti. Questa analisi permette di produrre grafici come quello a sinistra, che possono indicare la presenza di nuove particelle o nuovi fenomeni fisici.