LIBRETTO INFORMATIVO

Viaggio di Studio ai laboratori del CERN

9 - 11 Febbraio 2020

Organizzato da:
R. Lea, G. Luparello, G.-V. Margagliotti, V. Zaccolo

https://agenda.infn.it/e/viaggioalcern2020

Indice

Introduzione

1. **Il CERN**
    a. Il complesso degli acceleratori
    b. Successi scientifici
    c. LHC
    d. Dove è nato il Web
    e. Un laboratorio di pace
    f. Il futuro del CERN
2. **Modello Standard e bosone di Higgs**
3. **Quark Gluon Plasma**
4. **Il Viaggio**
    a. Composizione del Gruppo
    b. Programma dettagliato del viaggio e delle visite
        I. Esperimento ALICE
        II. Esperimento ATLAS
        III. Esperimento CMS
        IV. Esperimento COMPASS
        V. Struttura SM18
5. **Contatti**
    a. Organizzatori e accompagnatori
    b. Guide
6. **Lo sponsor dell'iniziativa**

    Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

7. **Curatori del libretto**

Introduzione

Benvenuti al CERN!
Questo libretto intende contribuire al successo della gita che abbiamo organizzato per voi fornendovi tutto il materiale informativo necessario, dalle informazioni logistiche, a notizie sul CERN, per finire con il programma vero e proprio di questa escursione.

Hanno collaborato, a vario titolo, alla riuscita di questo viaggio di studio al CERN i prof. Paolo Camerini e Giacomo-Vito Margagliotti (Università degli studi di Trieste), le dott.sse Ramona Lea, Grazia Luparello e Valentina Zaccolo (Università degli studi di Trieste e Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Trieste), il dott. Michele Pinamonti (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Trieste, Gruppo Collegato di Udine), il dott. Stefano Levorato (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Sezione di Trieste) e lo staff del Servizio amministrativo del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Trieste per gli aspetti contabili.

Si ringraziano il direttore della Sezione INFN di Trieste, prof. Rinaldo Rui, e il direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste, prof. Giovanni Comelli, che hanno sostenuto in vario modo questa iniziativa.

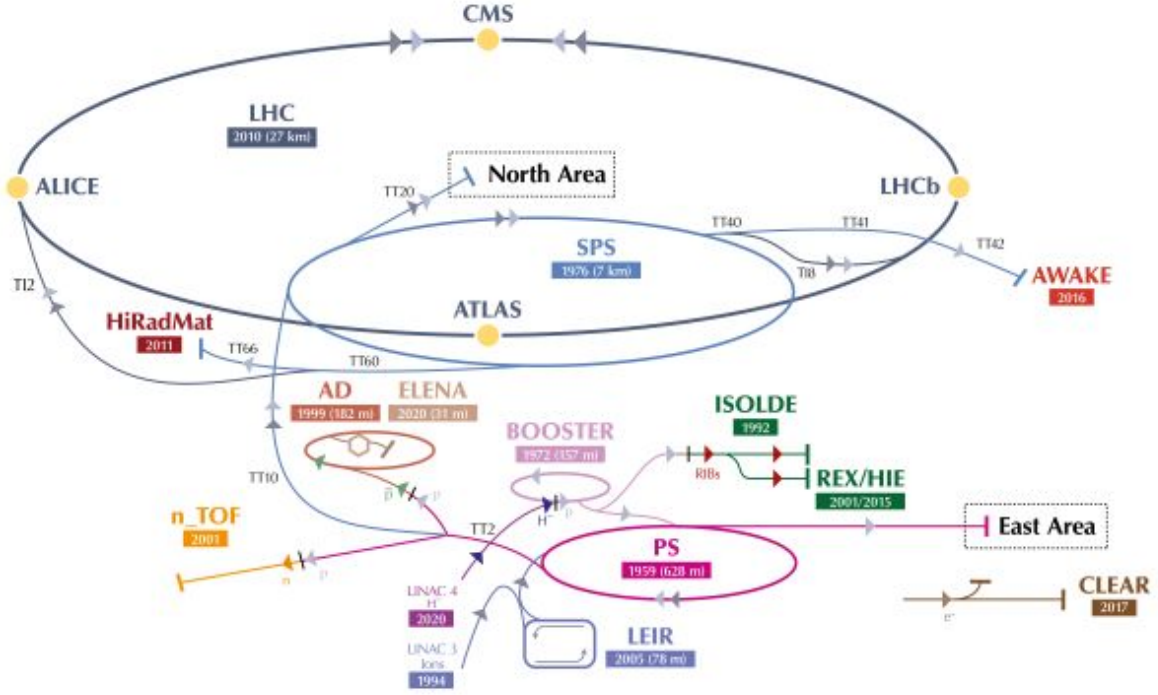
1. Il CERN

Il **CERN**, **European Organization for Nuclear Research** (storicamente il nome è l'acronimo di **C**onseil **E**uropéen pour la **R**echerche **N**ucléaire) è il più grande laboratorio al mondo di fisica delle particelle. Si trova al confine tra Svizzera e Francia, alla periferia ovest della città di Ginevra. Qui i fisici esplorano i segreti della materia e le forze che regolano l'universo. La convenzione che istituiva il CERN fu firmata il 29 settembre 1954 da 12 stati membri, inclusa l'Italia. Oggi fanno parte del CERN 23 stati membri più alcuni osservatori anche extraeuropei.
Scopo principale del CERN è quello di fornire ai ricercatori gli strumenti necessari per la ricerca in fisica delle alte energie attraverso esperimenti che rappresentano lo stato dell'arte sia dal punto di vista scientifico che tecnologico. Questi strumenti sono essenzialmente gli acceleratori, che accelerano le particelle fino a energie molto elevate. Indispensabili per la sperimentazione sono, assieme agli acceleratori, i rivelatori, che permettono di vedere e scoprire le particelle che si creano durante le collisioni. Un altro elemento importante del successo del laboratorio è la fervente e stimolante atmosfera rappresentata da una così straordinaria concentrazione di menti e competenze.

a. Il complesso degli acceleratori

Il complesso degli acceleratori del CERN comprende attualmente, oltre a LHC, di cui parleremo in seguito, sei strutture principali:

- Due acceleratori lineari che generano particelle a basse energie, che successivamente vengono immesse nel *PS Booster*. Uno fornisce protoni, l'altro ioni pesanti. Sono noti come *Linac2* e *Linac3*, rispettivamente.



- Il *PS Booster*, che aumenta l'energia delle particelle generate dagli acceleratori lineari prima di iniettarle negli acceleratori successivi.
- Il *Proton Synchroton* da 28 GeV (PS), costruito nel 1959.
- Il *Super Proton Synchrotron* (SPS), un acceleratore circolare di 2 km di diametro, costruito in un tunnel, che iniziò a funzionare nel 1976. Originariamente aveva un'energia di 300 GeV, ma è stato potenziato più volte. Oltre ad avere un proprio fascio per esperimenti a bersaglio fisso, ha funzionato come collisionatore protone-antiprotone e per accelerare elettroni e positroni, che venivano poi iniettati nel *Large Electron Positron collider* (LEP). Oggi è anche iniettore di LHC.
- Isotope Separator On-line (ISOLDE), che è usato per studiare nuclei instabili di isotopi molto pesanti.

b. Successi scientifici

Alcuni importanti successi nel campo della fisica delle particelle sono stati possibili grazie agli esperimenti del CERN. Per esempio:

- La scoperta della corrente neutra nel 1973 nella camera a bolle Gargamelle.
- La scoperta dei bosoni W e Z nel 1983 con gli esperimenti UA1 e UA2. Nel 1983 il premio Nobel per la fisica fu assegnato a Carlo Rubbia e Simon van der Meer per questa scoperta.
- Nel 1992 il premio Nobel per la fisica fu assegnato a Georges Charpak "per l'invenzione e lo sviluppo di rivelatori di particelle, in particolare della camera proporzionale a multifilo".
- La scoperta del bosone di Higgs, annunciata nel Luglio 2012, da parte degli esperimenti ATLAS e CMS. Questa scoperta ha portato all'assegnazione del premio nobel a Peter Higgs e Francois Englert per la scoperta teorica del bosone di Higgs confermata sperimentalmente dagli esperimenti del CERN.

c. LHC

Gran parte del lavoro svolto al CERN all'inizio del nostro millennio è stato finalizzato alla costruzione del *Large Hadron Collider* (grande collisionatore di adroni) e alla preparazione degli esperimenti collegati. Il progetto è stato completato nel 2008. L'acceleratore – del tipo collisionatore – è stato costruito all'interno dello stesso tunnel circolare di 27 km di lunghezza in precedenza utilizzato dal LEP, che è stato spento nel novembre 2000. Il complesso di acceleratori PS/SPS viene utilizzato per pre-accelerare sia i protoni che gli ioni che poi sono immessi nell'LHC. Il tunnel si trova mediamente a 100 m di profondità, in una regione compresa tra l'aeroporto di Ginevra e la catena montuosa del Giura. Quattro grandi esperimenti (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb) sono situati lungo l'anello di LHC: ognuno di essi studia collisioni tra particelle alle più alte energie mai raggiunte, con metodi diversi e facendo uso di tecnologie differenti.
Il Large Hadron Collider è stato progettato per accelerare protoni fino a 14 TeV e fornire collisioni tra ioni piombo con una massima energia nel centro di massa per coppia di nucleoni di 5.5 TeV.
LHC è stato spento all'inizio del 2013 ed è rimasto inattivo fino al 2015 per importanti lavori di rinforzo dei dispositivi di sicurezza. A seguito del secondo periodo di presa dati, iniziato nel 2015 e terminato nel 2018, LHC è stato nuovamente spento per permettere sia i lavori di manutenzione dell'acceleratore stesso che i lavori di upgrade dei rivelatori degli esperimenti.

d. Dove è nato il Web

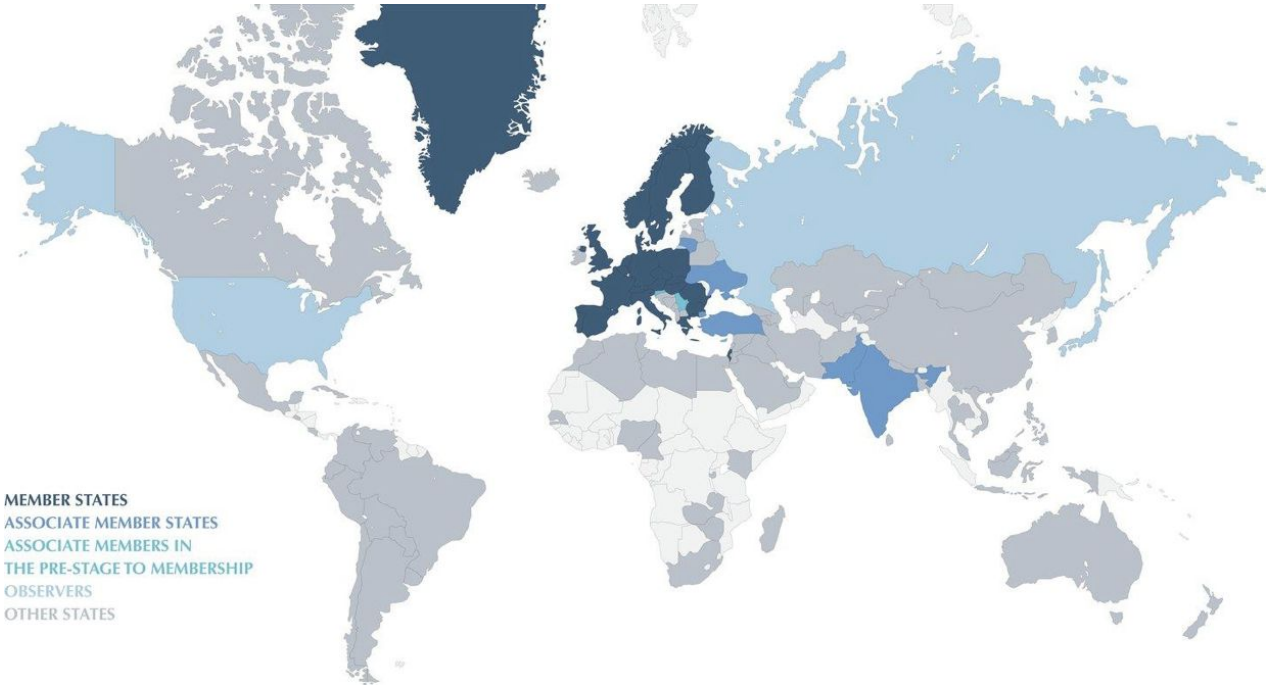
Il World Wide Web è nato al CERN nel 1989, da un'idea di Tim Berners-Lee. Nacque come progetto marginale**,** chiamato ENQUIRE, basato sul concetto dell'ipertesto nel 1980. Con lo scopo di scambiare efficientemente dati tra chi lavorava a diversi esperimenti, è stato introdotto al CERN nel 1989 con il progetto World Wide Web, il primo browser sviluppato sempre da Berners-Lee. Inoltre Tim Berners-Lee sviluppò le infrastrutture che servono il Web e cioè il primo web server.
Il 30 Aprile 1993 il CERN annunciò che il World Wide Web sarebbe stato libero per tutti. Nel 1993 la NCSA rilasciò il primo browser grafico, Mosaic. Da quel momento lo sviluppo del www fu inarrestabile.

e. Un laboratorio di pace

Al CERN persone da tutte le parti del mondo si incontrano, collaborano, discutono; riescono a lavorare insieme persone provenienti da paesi in guerra tra loro (Israeliani e Palestinesi ad esempio, ma si dice che sia un successo riuscire a far collaborare anche Francesi ed Inglesi). In questo senso il CERN è un *laboratorio di pace*.

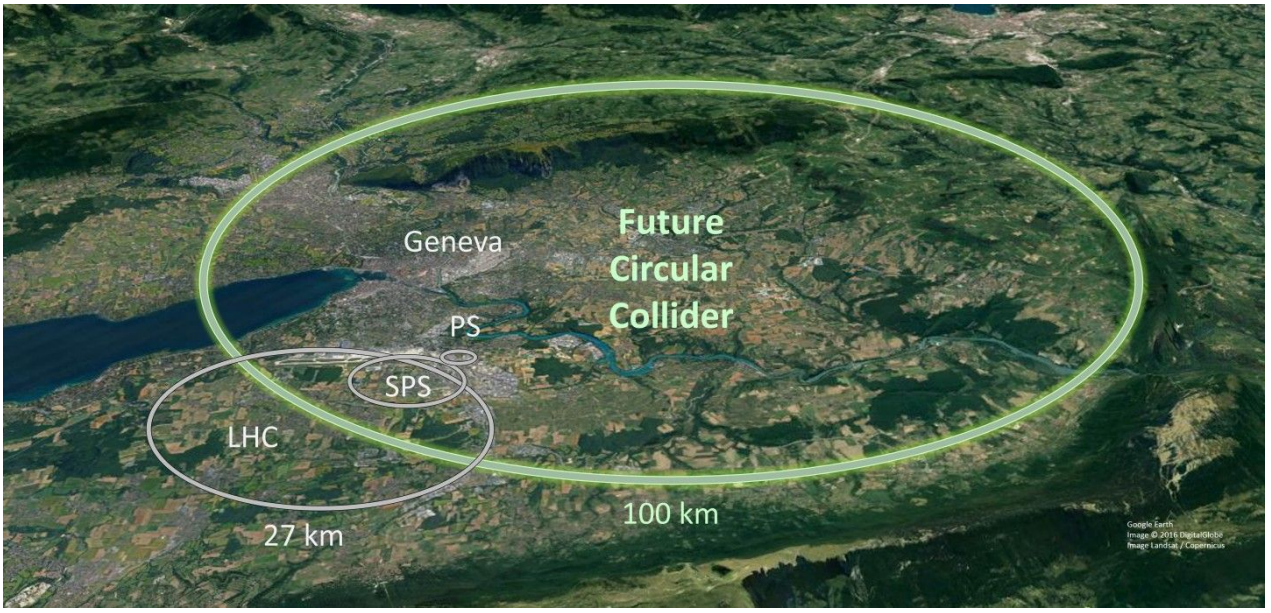
"Il CERN è stato fondato meno di 10 anni dopo la costruzione della bomba atomica. Penso che l'esistenza della bomba abbia avuto una grande importanza nel rendere possibile il CERN. L'Europa è stata teatro di violenti guerre per più di duecento anni. Adesso, con la fondazione del CERN, abbiamo qualcosa di diverso. Spero che gli scienziati al CERN si ricordino di avere anche altri doveri oltre che proseguire la ricerca nella fisica delle particelle. Essi rappresentano il risultato di secoli di ricerca e di studio per mostrare il potere dello spirito umano. Quindi mi appello a loro affinché non si considerino tecnici, ma guardiani di questa fiamma dell'unità europea, così che l'Europa possa salvaguardare la pace nel mondo."

(Isidor Isaac Rabi, al trentesimo anniversario del CERN (1984))



f. Il futuro del CERN

Il programma di presa dati con il LHC procederà fino al 2024. Il CERN ha in programma il progetto per l'High Luminosity Large Hadron Collider (HL-LHC) per ottimizzare le scoperte di fisica dopo il 2027. La luminosità fornisce un'indicazione delle performance dell'acceleratore, essendo proporzionale al numero di collisioni che avvengono in un certo lasso di tempo. Il che significa che più alta è la luminosità, più dati possono essere raccolti dagli esperimenti per osservare processi rari, come le indicazioni della fisica oltre il Modello Standard. L'obiettivo finale di HL-LHC è di aumentare la luminosità di un fattore 10 rispetto ad LHC.
L'HL-LHC sarà operativo fino a dopo il 2036. A quel punto si ipotizza la costruzione di un nuovo acceleratore: il Future Circular Collider (FCC) dove collideranno protoni e ioni ad un'energia di 100 TeV (più di un fattore 6 rispetto a quella di LHC) in un tunnel di 100 km. Più di 150 tra università, istituti di ricerca e partner industriali da tutto il mondo studiano le prospettive di realizzazione dell'FCC che sarà operativo tra il 2060 e il 2080. Infatti per poter costruire l'FCC lo sviluppo tecnologico interesserà lo studio di magneti da 16 Tesla, migliori tecniche di vuoto e criogenia. Queste tecnologie trovano poi applicazione in altri campi, come quelli industriali e di medicina.
Con queste prospettive, la comunità di fisici delle particelle sarà impegnata per molti decenni!

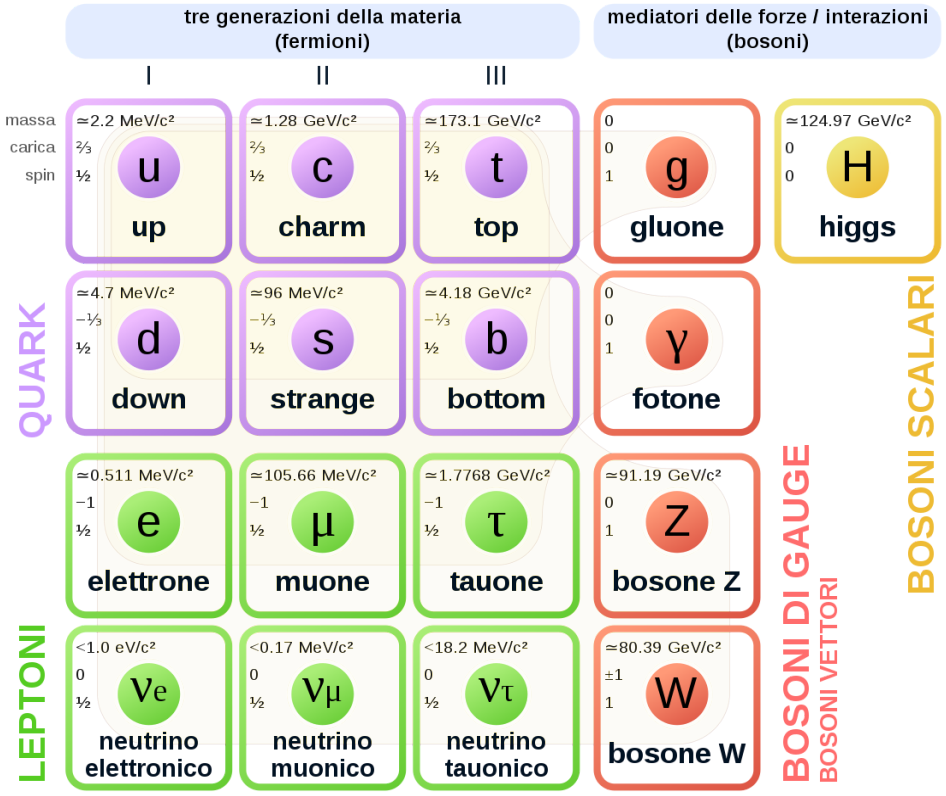


2. Modello Standard e bosone di Higgs

Il **Modello Standard** è una teoria che descrive i componenti primi della materia e le loro interazioni. Solo tre delle quattro forze fondamentali osservate in natura sono di fatto considerate dal modello: l'interazione elettromagnetica, quella debole (unificate nella cosiddetta interazione elettrodebole) e l'interazione forte. Il Modello Standard costituisce una teoria di campo quantistica, consistente quindi con la meccanica quantistica oltre che con la relatività speciale, in cui ogni interazione tra i campi di materia è regolata da un'opportuna simmetria locale (di *gauge*). Conseguenza di ciò è che l'interazione tra campi di materia può interpretarsi in termini di scambio di bosoni che, proprio per il loro ruolo, vengono detti bosoni mediatori (o di *gauge*). I bosoni di *gauge* del Modello Standard sono i seguenti:

- il fotone, mediatore dell'interazione elettromagnetica;
- i bosoni W e Z, che mediano la forza debole;
- i gluoni, che mediano la forza forte.

Il Modello Standard divide dunque le particelle fondamentali in due tipi: i cosiddetti campi di materia (leptoni, che subiscono solo interazioni elettrodeboli, e quark) e i bosoni mediatori delle forze. Leptoni e quark sono fermioni e come tali, sono particelle con spin semintero (½ per tutti i fermioni del Modello Standard), al contrario dei bosoni, caratterizzati invece da spin intero (spin 1 nel caso specifico di bosoni di *gauge*).



Si può dimostrare che le trasformazioni di *gauge* possono essere descritte esattamente per mezzo di un gruppo unitario chiamato gruppo di *gauge*. Il gruppo di *gauge* dell'interazione forte è SU(3), mentre quello dell'interazione elettrodebole è SU(2)×U(1): perciò il Modello Standard è noto anche come $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$. Tuttavia, se tale simmetria fosse esatta, allora tutti i bosoni di *gauge* sarebbero privi di massa (come

accade per fotoni e gluoni); questa eventualità è esclusa dall'evidenza sperimentale che quantifica la massa di W e Z in circa 80 e 91 GeV/c^2 rispettivamente. La possibilità di mantenere la struttura fondamentale del modello è offerta dal meccanismo di Higgs che, a fronte dell'introduzione di un ulteriore campo scalare (un bosone di spin 0), consente di assegnare massa non soltanto ai bosoni W e Z, ma anche a tutti i fermioni del modello, rompendo in modo spontaneo la simmetria di *gauge*.
In particolare, la rottura avviene secondo lo schema $SU(2)_L \times U(1)_Y x U(1)_{em}$, in cui si recupera la simmetria caratteristica dell'elettromagnetismo, di cui non sono state mai osservate violazioni. Diverse speculazioni indirette, basate sulla consistenza interna del Modello Standard e sulle correzioni quantistiche a quantità misurate sperimentalmente (come la massa del quark top), sembravano preferire una massa del bosone di Higgs dell'ordine della scala elettrodebole, ovvero dell'ordine di 200 GeV/c^2. Uno dei maggiori obiettivi di LHC – dopo quanto fatto al LEP e al Tevatron – è stata proprio la ricerca del bosone di Higgs.
Tale ricerca ha dato i suoi frutti: il CERN, il 4 luglio 2012, ha potuto annunciare la scoperta di una particella compatibile con il bosone di Higgs, dotata di una massa intorno ai 126 GeV per l'esperimento ATLAS e ai 125,3 GeV per l'esperimento CMS.
La scoperta del Bosone di Higgs è stata ufficialmente confermata il 6 Marzo 2013, nel corso di una conferenza tenuta a La Thuile. Adesso, il progetto di LHC e dei suoi esperimenti ATLAS e CMS, è proprio lo studio delle caratteristiche e proprietà di questa nuova particella, insieme alla ricerca di Nuova Fisica oltre a quella prevista dal Modello Standard.
Ad oggi, essenzialmente tutte le verifiche sperimentali del Modello Standard si sono dimostrate in accordo con le previsioni. Nonostante ciò il Modello Standard non può considerarsi una teoria completa delle interazioni fondamentali, dal momento che non include una descrizione della gravità e non è compatibile con la relatività generale. Ecco allora la necessità di cominciare ad esplorare oltre la scala elettrodebole, alla ricerca di simmetrie o dimensioni più estese di quelle che oggi caratterizzano il Modello Standard.

3. Quark-Gluon Plasma

La fisica degli ioni pesanti a energie ultrarelativistiche si propone di estendere il Modello Standard alla comprensione dei sistemi complessi di dimensione finita e della loro evoluzione dinamica. Ciò per capire come proprietà macroscopiche e fenomeni collettivi, coinvolgenti molti gradi di libertà, discendono dalle leggi microscopiche della fisica delle particelle elementari. In particolare, si vuole sondare l'ambito delle interazioni forti studiando la materia nucleare in condizioni estreme di densità e temperatura.
I fenomeni collettivi di più straordinario impatto, predetti dal Modello Standard, consistono nel manifestarsi di transizioni di fase in campo quantistico in corrispondenza di ben determinate condizioni di densità d'energia. Ciò coinvolge in modo cruciale la nostra attuale comprensione sia della struttura del Modello Standard a basse energie che dell'evoluzione dell'Universo nei primissimi istanti successivi al Big Bang. Questa evoluzione, a partire da uno stato iniziale di estrema densità, avrebbe attraversato una fase di rapida espansione e conseguente raffreddamento, passando attraverso delle serie di transizioni di fase predette dal Modello Standard. Caratteristiche globali del nostro attuale Universo, quali l'asimmetria barionica o la struttura su larga scala, sono connesse a proprietà caratteristiche di tali transizioni di fase.
La comparsa, nel quadro del Modello Standard, di transizioni di fase che coinvolgono campi quantistici elementari, è intrinsecamente connessa alla rottura di simmetrie fondamentali della natura, e dunque all'origine della massa. Generalmente avviene che

simmetrie intrinseche della teoria, valide ai più alti valori di densità d'energia, si rompano al di sotto di valori critici della stessa.
Il numero di particelle e la loro massa sono una diretta conseguenza del meccanismo di rottura di una simmetria. Grazie a calcoli di Cromodinamica Quantistica (QCD) su reticolo si può predire un valore di 170 MeV, corrispondente a una densità d'energia di circa 1 GeV fm^{-3}, per la temperatura critica alla quale la materia dovrebbe effettuare una particolare transizione di fase, ovvero quella verso uno stato deconfinato di quark e gluoni.

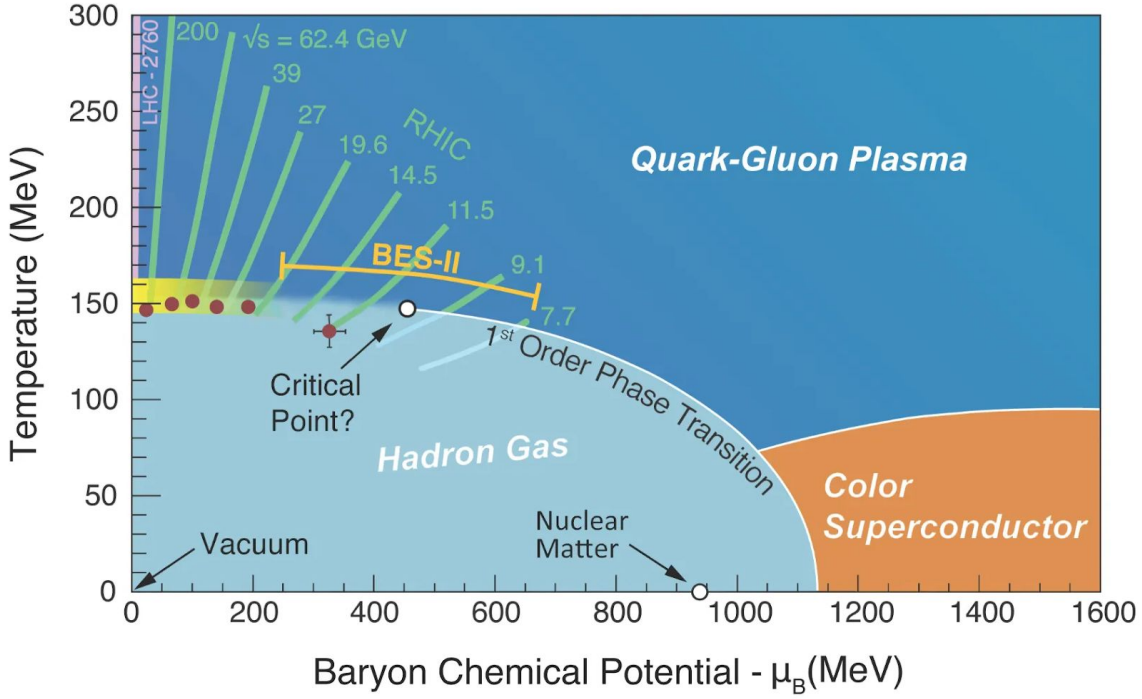


Diagramma di fase della materia nucleare

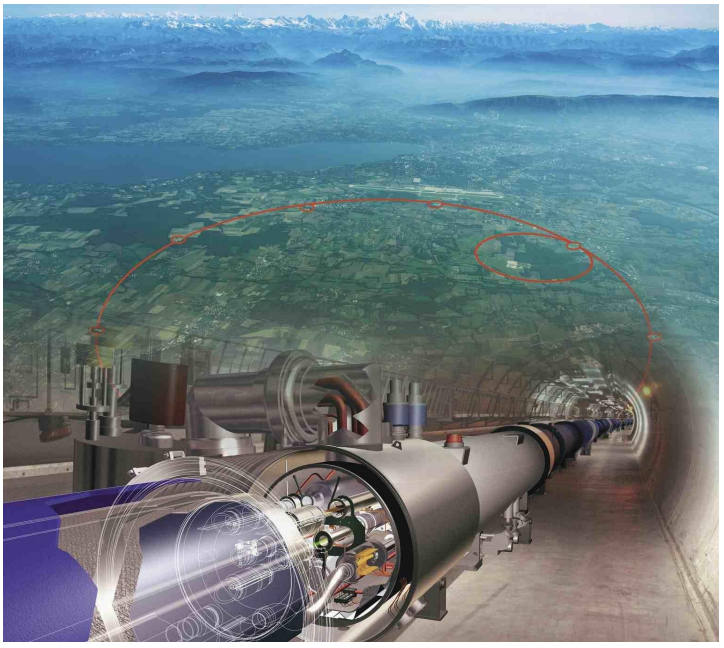
Negli urti fra ioni pesanti ottenuti a LHC tali valori critici sono stati raggiunti e anche superati. Ciò fa della transizione di fase di QCD verso il Quark Gluon Plasma la sola transizione predetta dal Modello Standard e contemporaneamente accessibile oggi con esperimenti in laboratorio.
I sistemi creati negli urti fra ioni pesanti ultrarelativistici possono dunque dare luogo alla fase deconfinata detta di Quark Gluon Plasma che, evolvendo dinamicamente in modo molto rapido, transisce verso la condizione finale adronica e diluita. La comprensione di questa fase di rapida evoluzione si configura come una formidabile sfida teorica che va ben oltre l'esplorazione della condizione di equilibrio in QCD.

4. Il viaggio

a. Composizione del gruppo

Il gruppo in visita ai laboratori del CERN con questo viaggio di studio del 9-11 febbraio 2020 è composto da studenti universitari iscritti al Corso di Laurea in Fisica presso l'Università degli Studi di Trieste

Il viaggio di studio è rivolto prevalentemente ai ragazzi che stanno completando la laurea triennale per offrire, attraverso la visita ad un laboratorio di frontiera, un ampliamento delle loro prospettive culturali. Ciò in armonia con una componente essenziale della missione dell'INFN: la diffusione della conoscenza nell'ambito delle scienze fisiche.



Spaccato di sezione di uno dei magneti di LHC. Sullo sfondo la zona di Ginevra e il Monte Bianco

b. Programma dettagliato del viaggio e delle visite

Domenica 9 febbraio

9:45 Meeting Point: piazza Oberdan (TS)

10:00 Partenza con pullman da Trieste al CERN
Pranzo e cena in viaggio (a carico dei partecipanti).
Consigliamo di portarsi almeno pranzo al sacco, mentre per la cena si prevede pausa più lunga.

21:00 circa Arrivo a Prévessin-Moens
Sistemazione in camere triple presso l'Hôtel Première Classe Genève - Aéroport - Prévessin

Lunedì 10 febbraio

8:30 Meeting point: Reception Hôtel Première Classe

9:00 – 11:00 Visita esperimento ALICE
Visita della ALICE Exhibition e discesa alla caverna sperimentale

11:00 – 11:40 Seminario sui laboratori del CERN

12:10 – 13:00 Visita struttura SM18
Visita alla struttura di test dei criomagneti

13:30 Pranzo alla mensa del CERN (a carico dei partecipanti)

14:45 – 15:30 Visita alla mostra "L'Universo di Particelle" (Globo)

16:30 – 17:30 Visita esperimento COMPASS

19:00 Meeting point: Reception Hôtel Première Classe

19:30 Cena al Ristopub ÔBrasseur (a carico dei partecipanti)

Martedì 11 febbraio

8:30 Meeting point: Reception Hôtel Première Classe

9:00 – 12:00 Visita esperimento ATLAS
Visita della stanza di controllo e discesa alla caverna sperimentale

Visita alla mostra "Microcosmo"

12:30 – 13:30 Pranzo alla mensa del CERN (a carico dei partecipanti)

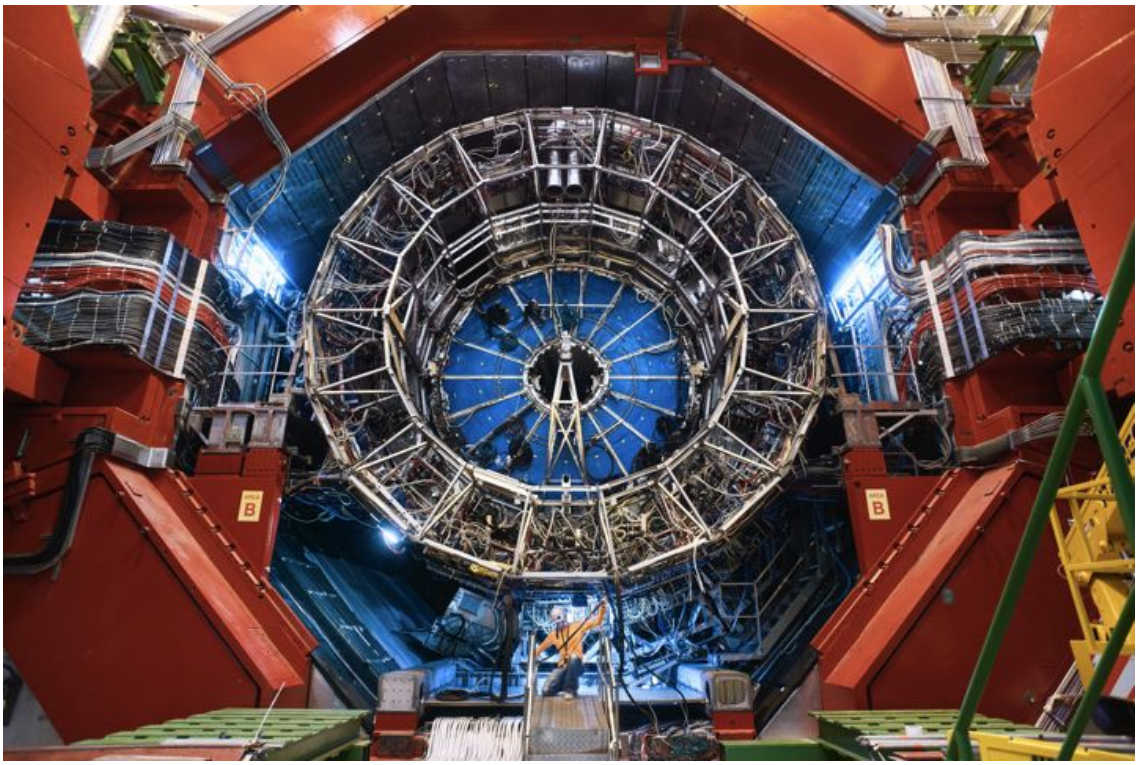
14:00 Partenza con pullman dal CERN a Trieste

00:30 circa Arrivo a Trieste, Piazza Oberdan

NOTA IMPORTANTE: Per le visite alle caverne sperimentali è obbligatorio indossare **scarpe chiuse** e **con tacco basso.** Si consiglia di indossare vestiti comodi.

I. Esperimento ALICE

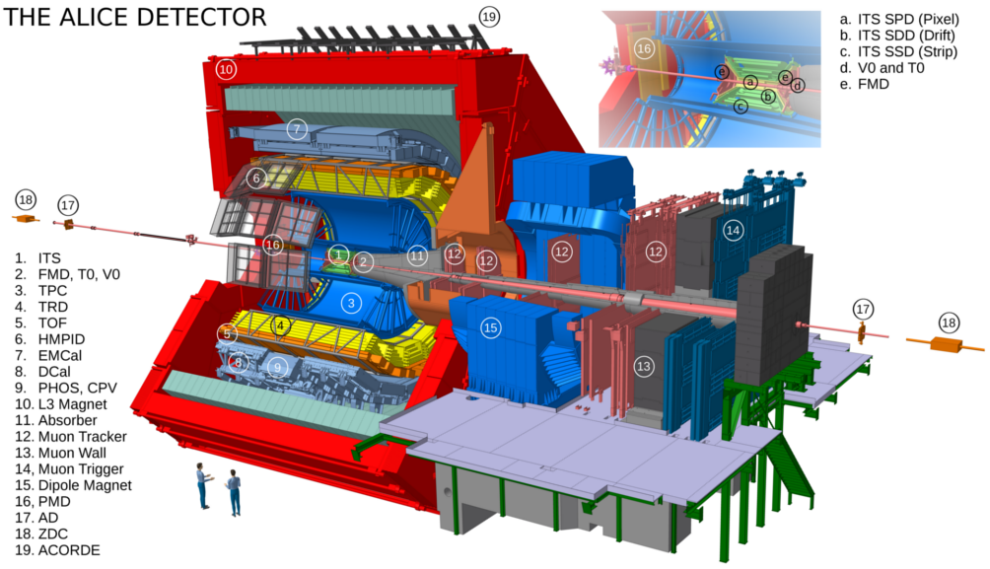
ALICE (***A*** ***L****arge* ***I****on* ***C****ollider* ***E****xperiment*) coinvolge una collaborazione di oltre 1800 fisici, ingegneri e tecnici provenienti da più di 40 diverse nazioni nel mondo. L'esperimento ALICE è pensato per studiare nel modo più efficiente le interazioni fra ioni piombo che vengono accelerati da LHC ad energie ultrarelativistiche. Il goal di ALICE è lo studio del Quark-Gluon Plasma e dei fenomeni ad esso associati e date le notevoli caratteristiche del rivelatore, esso può contribuire in modo significativo anche ai risultati della fisica delle interazioni protone-protone.



L'esperimento ALICE durante le fasi di upgrade

L'apparato sperimentale è costituito da un magnete solenoidale e da più rivelatori, funzionanti sulla base di tecniche differenti ma complementari, per la gran parte contenuti entro il magnete e disposti a simmetria cilindrica attorno all'asse dei fasci di LHC. Ciò garantisce al sistema la capacità di rivelare, con alta efficienza, l'enorme moltitudine di particelle di diverse specie prodotte negli urti ione-ione, e di ricostruirne con precisione le caratteristiche dinamiche.
L'apparato misura complessivamente circa 20 metri in lunghezza e 16 metri sia in altezza che in larghezza.
Partendo dal volume a ridosso della zona d'interazione e muovendosi radialmente verso l'esterno, vi sono: il rivelatore di vertice ITS, costituito da 6 strati cilindrici di rivelatori rispettivamente a pixel di silicio, a deriva di silicio e a microstrip di silicio; una camera di tracciamento a gas (TPC); rivelatori per elettroni, positroni ed altre particelle ad alto impulso (TRD, HMPID); un rivelatore di tempo di volo (TOF); uno spettrometro per fotoni (PHOS); un calorimetro elettromagnetico (EMCal). Fuori dal

magnete vi sono poi uno spettrometro per muoni, rivelatori dedicati al trigger e a misure calorimetriche a piccoli angoli, rivelatori di monitor per raggi cosmici.



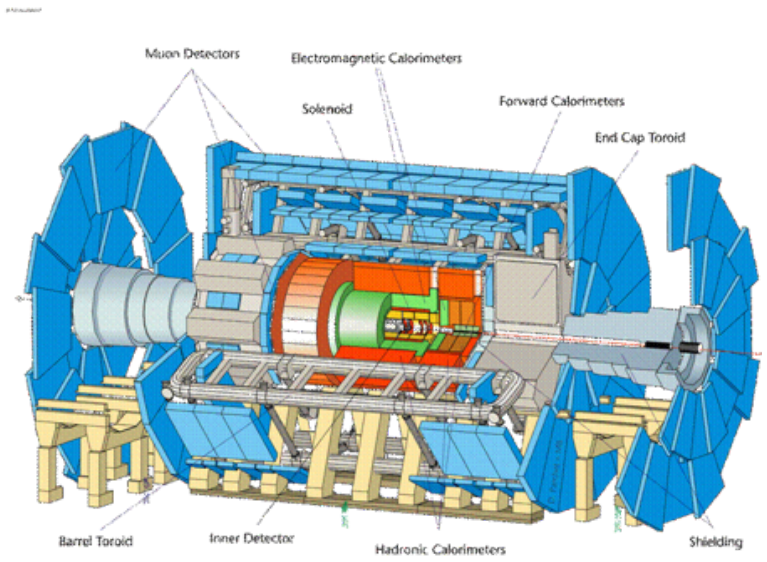
I risultati dello studio dei fenomeni associati al Quark Gluon Plasma stanno conducendo ad una migliore e più ampia comprensione della natura della interazione forte, altrimenti non ottenibile da reazioni che comportino pochi nucleoni nel canale d'ingresso. Essi forniscono anche importanti risultati con cui confrontare le previsioni di evoluzione dell'Universo nei suoi primi microsecondi di vita dopo il Big Bang; gli urti centrali fra ioni piombo ad LHC costituiscono infatti quelli che vengono detti dei Little Bang, ovvero Big Bang su piccolissima scala, a meno del maggior contenuto iniziale in materia adronica, rispetto all'evento che ha originato il nostro Universo.
È ora iniziata, sia per LHC che per gli esperimenti, una lunga pausa di circa due anni durante i quali, per quanto riguarda ALICE, si procederà ad un importante lavoro di upgrade del rivelatore.
Il gruppo di Trieste è coinvolto nell'esperimento ALICE sin dalle prime fasi, quando ha partecipato alla costruzione e alle operazioni di raccolta dati con il tracciatore al silicio (ITS). In questo momento il gruppo di Trieste è fortemente coinvolto nello sviluppo e costruzione del nuovo tracciatore al silicio, nonché in molteplici temi di analisi dati legati sia alla caratterizzazione generale della collisione (fenomenologia dell'evento), che allo studio dell'interazione forte (mediante tecniche di femtoscopia), che allo studio della produzione di nuclei/ipernuclei, risonanze e mesoni pesanti.

II. Esperimento ATLAS

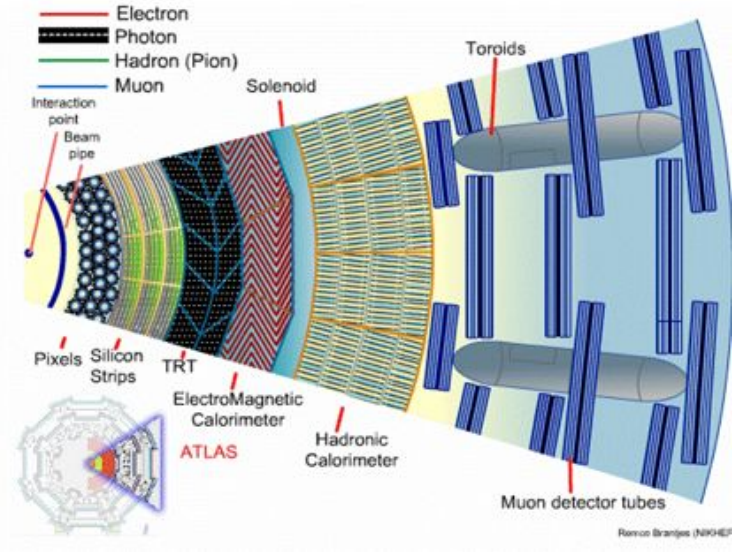
ATLAS (**A** **T**oroidal **L**HC **A**pparatu**S**) è uno dei quattro maggiori rivelatori di particelle (ALICE, ATLAS, CMS e LHCb) presenti all'LHC. Il rivelatore è lungo 46 metri con un diametro di 25 metri e pesa circa 7,000 tonnellate. Al progetto partecipano approssimativamente 3000 scienziati ed ingegneri, divisi tra 183 istituti e 38 nazioni. L'esperimento è stato progettato per osservare fenomeni che riguardano particelle pesanti che non sono mai state osservate usando gli attuali acceleratori a più bassa energia e per far luce su nuove teorie di fisica delle

particelle oltre il Modello Standard. E' un esperimento "*general purpose*" che studia:

- il bosone di Higgs, scoperto nel 2012
- segnali di "nuova Fisica"
- la fisica del quark top
- la violazione di CP
- rivelazione di W e Z pesanti

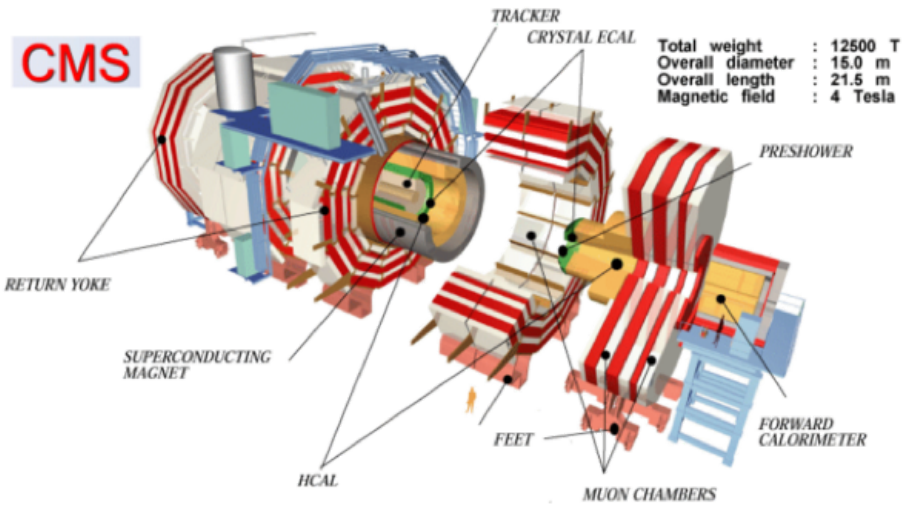


ATLAS è costituito da più rivelatori le cui specifiche caratteristiche sono state scelte in fase di progettazione come le più indicate per la rivelazione dei processi di Fisica che si intendono studiare. Ogni rivelatore è dedicato alla misura di una grandezza fisica (energia dei prodotti della reazione, traiettoria, tipo di particelle, …). Le particelle prodotte nell'urto fra i protoni del fascio sono emesse in tutte le direzioni. L'apparato che le rileva ha quindi la forma di un cilindro intorno all'asse del fascio. Come mostrato nello schema a lato, il rivelatore ATLAS è formato da più sotto-rivelatori: il calorimetro elettromagnetico misura l'energia degli elettroni e dei gamma prodotti e permette la loro identificazione. Il calorimetro adronico misura l'energia degli adroni: protoni, K, pi etc. che emergono dal calorimetro elettromagnetico dove hanno ceduto solo una parte trascurabile della loro energia. Come gli elettroni ed i gamma nel calorimetro elettromagnetico, gli adroni interagendo con il materiale del calorimetro adronico cedono integralmente la loro energia. I muoni, così come i neutrini, sono le uniche particelle che emergono dai rivelatori precedenti. Il rivelatore muonico identifica le tracce dei muoni e dalla loro curvatura in campo magnetico ne misura l'impulso. I neutrini non vengono rivelati direttamente, essendo trascurabile la probabilità di una loro interazione con conseguente rilascio di un segnale, ma indirettamente nella

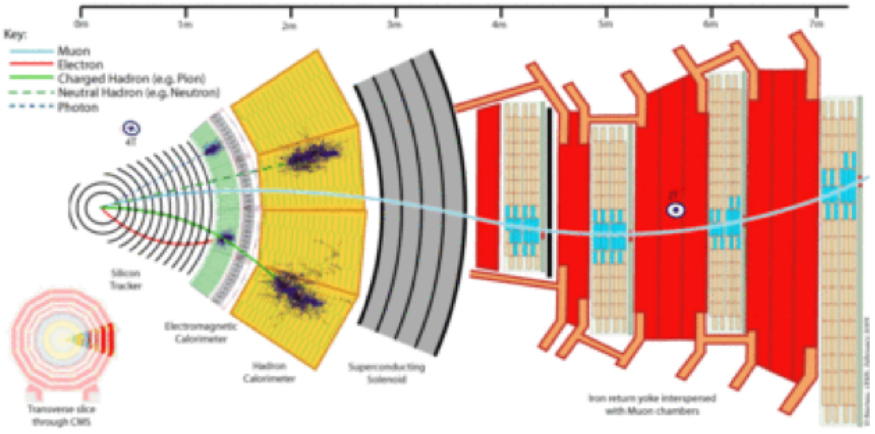


fase di analisi degli eventi.
Ad Udine, il gruppo ATLAS collabora attualmente all'upgrade del rivelatore pixel (progetto ITk) e si occupa di analisi dei dati nell'ambito della fisica del quark top e di nuova fisica.

III. Esperimento CMS

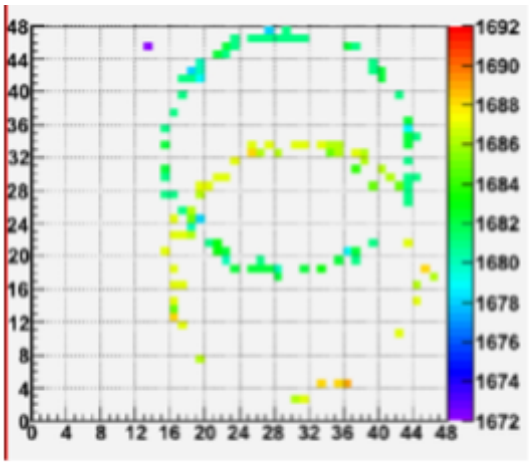


CMS (***C**ompact **M**uon **S**olenoid*) è un esperimento progettato da una collaborazione di 181 istituzioni scientifiche per operare al *collider* adronico LHC presso i laboratori del CERN di Ginevra. La progettazione dell'apparato è stata principalmente guidata dalla sua ottimizzazione per la ricostruzione del bosone di Higgs. I limiti teorici e sperimentali precedenti all'inizio delle operazioni di CMS indicavano che la massa permessa era compresa tra i 100 GeV ed 1 TeV, con una netta preferenza per il limite inferiore. In questo caso i canali di decadimento privilegiati per la scoperta sono stati quelli in due fotoni o quattro leptoni carichi.
Il calorimetro elettromagnetico ad alta risoluzione e le camere di rivelazione dei muoni combinate con l'elevato campo magnetico di CMS sono stati progettati avendo come obiettivo primario questa ricerca.
Le ricerche sul bosone di Higgs hanno portato nel 2012 alla scoperta di una particella con massa di 125 GeV, compatibile con quella postulata dal Modello Standard allo stato attuale delle misure.
Lo studio di precisione delle sue proprietà si unisce agli altri obiettivi dell'esperimento, quali la ricerca diretta di nuove particelle al di là del Modello Standard, di possibile produzione di materia oscura, o la ricerca indiretta di nuova fisica attraverso misure di precisione di vari processi, inclusi i decadimenti del quark b.
CMS è stato quindi progettato per essere un rivelatore *"general purpose"*, in grado di studiare molti aspetti delle collisioni tra protoni a 14 TeV. È costituito da una struttura cilindrica del peso di 12500



tonnellate lunga 21 metri e con diametro di 16 metri, assemblata all'interno di una cavità sotterranea nei pressi di Cessy, in Francia. È strutturato in sotto-rivelatori che permettono la misura di energia e momento di fotoni, elettroni, muoni ed altri prodotti di collisione. Internamente vi è un sistema di tracciamento con rivelatori al silicio, circondato da un calorimetro elettromagnetico a cristalli scintillanti. Il calorimetro elettromagnetico è a sua volta circondato da un calorimetro adronico a campionamento. Tracciatori e calorimetri sono racchiusi all'interno del solenoide di CMS, in grado di generare un campo magnetico di 4 T parallelo all'asse dei fasci. All'esterno di questo solenoide trovano posto i rivelatori di muoni, conglobati nel giogo di ritorno del campo magnetico.
Il gruppo di Trieste è da molti anni impegnato in vari settori dell'esperimento, avendo contribuito alle attività del calorimetro elettromagnetico ed allo sviluppo e gestione del software e dei sistemi di calcolo della collaborazione. Inoltre è attivo nello studio di precisione di processi del Modello Standard che costituiscono importanti fondi alla ricerca di nuova fisica.

IV. Esperimento COMPASS



Immagini ottenute con il RICH

COMPASS è un esperimento di fisica delle alte energie installato all'acceleratore SPS del CERN, a Ginevra, cui partecipano circa 240 fisici da 13 paesi e da 25 istituti. Scopo di questo esperimento è lo studio della struttura dei nucleoni e della spettroscopia adronica. In particolare, lo studio della struttura dei nucleoni (cioè protoni e neutroni) con misure di diffusione fortemente inelastica di leptoni su nucleoni e' alla base della moderna descrizione di questi fondamentali componenti di tutta la materia che ci circonda.
Lo studio di questa fisica ha una lunga tradizione al CERN, dove si sono susseguiti, dagli anni 70 in poi, esperimenti di diffusione fortemente inelastica via via più precisi ed ambiziosi, che hanno fatto uso di uno strumento di indagine unico nel suo genere: il fascio di muoni di alta energia. COMPASS, in particolare, è dedicato allo studio della struttura di spin dei nucleoni.

La parete a specchi del RICH

COMPASS sta raccogliendo dati e producendo risultati di fisica dal 2002 e continuerà per tutto il decennio in corso e nel decennio successivo. L'esperimento è stato progettato nella seconda metà degli anni '90, anche grazie al ruolo propositivo del gruppo di fisici di Trieste che vi si dedicano, una ventina in tutto: da sempre questo gruppo rappresenta una delle forze trainanti della collaborazione.
Il gruppo triestino ha contribuito e contribuisce a COMPASS in maniera determinante in ogni aspetto dell'esperimento. Sul piano dell'apparato sperimentale, ha progettato e realizzato il rivelatore Cerenkov a focalizzazione di immagine RICH-1, dedicato all'identificazione delle particelle; è il rivelatore di particelle ionizzanti più sofisticato e complesso dell'esperimento. Nell'ambito degli studi di fisica e dell'analisi dei dati, il gruppo triestino guida, all'interno di COMPASS, lo studio della struttura di spin trasverso dei nucleoni.

V. La struttura SM18

SM18 è un laboratorio di punta del CERN in cui si testano magneti ed altra strumentazione a basse temperature (tra 1.9 K e 80 K) e ad alti valori di corrente (fino a 30 kA). Nel laboratorio si effettuano test dei magneti superconduttori e misure magnetiche di tutti i tipi di magneti utilizzati negli acceleratori.
Il laboratorio, ottimizzato per studiare i magneti superconduttori di LHC al NbTi, è stato di recente oggetto di un upgrade per permettere lo studio dei magneti che verranno utilizzati in High-Luminosity LHC, l'upgrade di LHC che sarà operativo a partire dal 2027.

Contatti

A. Organizzatori e accompagnatori

Ramona Lea
Dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Trieste & INFN, Sezione di Trieste
Via Alfonso Valerio, 2
34127 Trieste (Italia)
e-mail: ramona.lea@ts.infn.it
Tel. n. 040 558 3379

Grazia Luparello
INFN, Sezione di Trieste
Via Alfonso Valerio, 2
34127 Trieste (Italia)
e-mail: grazia.luparello@ts.infn.it
Tel. n. 040 558 3398

Giacomo Vito Margagliotti
Dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Trieste & INFN, Sezione di Trieste
Via Alfonso Valerio, 2
34127 Trieste (Italia)
e-mail: giacomo.margagliotti@ts.infn.it
Tel. n. 040 558 3376

Valentina Zaccolo
Dipartimento di Fisica dell'Università degli studi di Trieste & INFN, Sezione di Trieste
Via Alfonso Valerio, 2
34127 Trieste (Italia)
e-mail: valentina.zaccolo@ts.infn.it
Tel. n. 040 558 3398

I numeri telefonici di riferimento nelle giornate di viaggio sono:

Valentina Zaccolo 347 671 9498
Ramona Lea 340 186 4682
Grazia Luparello 349 083 5254

B. Guide

Esperimento: ALICE
Chiara De Martin, Ramona Lea, Grazia Luparello, Valentina Zaccolo (Università degli Studi di Trieste e INFN, Sezione di Trieste), Massimiliano Puccio (CERN, Ginevra), Ivan Ravasenga (Nikhef, Olanda)

Esperimento: ATLAS
Claudio Bortolin, Benedetto Gorini (CERN), Marco Delmastro (LAPP Annecy, Francia), Jacopo Magro (Università di Udine e INFN, Sezione di Trieste), Stefano Manzoni (Nikhef, Olanda), Michele Pinamonti (INFN, Sezione di Trieste - Gruppo collegato di Udine)

Esperimento: COMPASS
Silvia Dalla Torre, Stefano Levorato, Fulvio Tessarotto (INFN, Sezione di Trieste)

Struttura: SM18
Dario Beffari (CERN), Agostino De Iorio (Università degli Studi di Napoli Federico II)

Lo sponsor dell'iniziativa

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – Sezione di Trieste (Direttore: prof. Rinaldo Rui)

L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare – INFN – conduce ricerche di Fisica fondamentale nell'arena internazionale avvalendosi di due tipi di strutture complementari: 4 Laboratori Nazionali e le Sezioni. Le 20 Sezioni, distribuite sul territorio nazionale, usualmente dividono la sede con i dipartimenti universitari realizzando un collegamento intimo e diretto tra l'Istituto e le Università.
La Sezione INFN di Trieste, assieme al Gruppo Collegato di Udine, partecipa a ricerche di frontiera in fisica nucleare, subnucleare e delle astroparticelle. Queste attività, di tipo sia sperimentale che teorico, sono realizzate in sinergia con numerose realtà scientifiche locali, quali i Dipartimenti di Fisica, l'ICTP, Elettra e la SISSA, vuoi internazionali tra cui i laboratori del CERN (CH), DESY (DE), JLAB, NASA, BNL (USA), KEK (JP).
La ricerca fondamentale richiede tecnologie e strumenti di frontiera che spesso sono inventati dai ricercatori stessi in funzione dei loro studi. L'INFN sviluppa e realizza queste tecnologie sia in proprio, in simbiosi con le Università, sia avvalendosi della collaborazione del mondo dell'industria.
A tal fine la Sezione di Trieste dell'INFN dispone di laboratori meccanici ed elettronici molto avanzati, di una importante struttura per il calcolo e l'elaborazione dei dati e di modernissimi laboratori per lo sviluppo di rivelatori a semiconduttore dove vengono sviluppati sensori unici al mondo. Oltre a ciò l'INFN mantiene attivi contatti di collaborazione con varie industrie.
L'INFN sostiene vigorosamente la ricaduta, in altri campi, della propria esperienza e delle tecniche sperimentali sviluppate. Prima fra tutte la medicina con la mammografia digitale sperimentale all'acceleratore Elettra da poco entrata in fase di applicazione clinica, la conservazione dei beni culturali, la protezione ambientale e, naturalmente, le applicazioni industriali.

Curatori del libretto

Chiara De Martin	Università degli Studi di Trieste & INFN, Trieste
Ramona Lea	Università degli Studi di Trieste & INFN, Trieste
Grazia Luparello	INFN, Sezione di Trieste
Erica Novacco	INFN, Sezione di Trieste
Valentina Zaccolo	Università degli Studi di Trieste & INFN, Trieste

Sponsor dell'iniziativa

INFN
TRIESTE
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
Sezione di Trieste