

# Fabiola Gianotti

Direttore generale, CERN

Director-General, CERN





È un grande onore e piacere, e anche una grande emozione, essere qui oggi alla presenza del Presidente del Senato, del Sindaco della città, del Presidente e del Magnifico Rettore dell'Università Bocconi, delle Autorità accademiche, del corpo docente, dell'Autorità cittadina e di tutti voi, in particolare gli studenti perché questo è il loro giorno.

Gentilmente, il Presidente Monti e il Rettore Sironi mi hanno invitata a parlare del CERN che, come tutti sapete, è un centro di eccellenza scientifica, ma non soltanto. In questa breve presentazione cercherò di coprirne tutti gli aspetti e sono molto felice di farlo in questo contesto. Abbiamo sentito che l'Università Bocconi è una delle più importanti università di ricerca a livello mondiale e io condivido pienamente le parole illuminate e illuminanti del Rettore.

Il CERN è il più grande e più importante laboratorio al mondo per la fisica delle particelle. Il suo statuto è quello di organizzazione intergovernativa con sede a Ginevra. La sua missione principale è la ricerca in fisica fondamentale nel campo delle particelle elementari, ricerca che è stata coronata negli anni da scoperte importanti - l'ultima è quella del bosone di Higgs nel 2012 - e da premi Nobel conferiti a dipendenti del laboratorio, come Carlo Rubbia.

È anche un posto in cui gli obiettivi scientifici, che sono molto ambiziosi, richiedono lo sviluppo di tecnologie di punta in moltissimi campi:

l'elettronica, i materiali superconduttori, le tecniche di vuoto, la criogenia, il trattamento dei dati, l'informatica. Il progresso tecnologico viene poi trasferito alla società in modo del tutto libero; non abbiamo brevetti, non abbiamo licenze esclusive perché siamo un laboratorio di ricerca finanziato da denaro pubblico. Questo è il caso del Web, forse il prodotto che ha avuto l'impatto più grande fra i trasferimenti tecnologici del CERN, che è libero e accessibile a tutti.

Il CERN è anche un luogo in cui educiamo e prepariamo i giovani, non soltanto gli scienziati di domani, ma anche gli studenti e gli insegnanti delle scuole superiori. Ed è un esempio veramente concreto di collaborazione pacifica a livello mondiale, perché al CERN lavorano più di 12.000 scienziati di tutto il mondo, di più di 110 nazionalità diverse.

Il laboratorio fu fondato nel 1954 per iniziativa di un gruppo di politici e scienziati illuminati, fra i quali ricordiamo il grande Edoardo Amaldi, con il duplice scopo da un lato di riportare l'asse della ricerca fondamentale dagli Stati Uniti, dove si era spostata durante la guerra, in Europa, dall'altro di creare un centro in cui i paesi europei potessero collaborare in modo pacifico attraverso la ricerca. La convenzione del CERN è un documento

It is a great honor and pleasure, and also a great thrill, to be here today in the presence of the President of the Senate, the Mayor of the City, the President and Rector of Bocconi University, the academic authorities, the Faculty, city authorities and all of you, particularly the students, because this is their day. President Monti and Rector Sironi have very kindly invited me to speak about CERN which, as you all know, is a center of scientific excellence, but not only that. In this short presentation, I will try to cover all its aspects and I am very happy to do so in this context. We have heard that Bocconi University is one of the most important research universities globally and I fully endorse the enlightened and enlightening words of the Rector.

CERN is the world's biggest and most important particle physics laboratory. Its statute is that of an intergovernmental organization based in Geneva. Its main mission is fundamental physics research in the field of elementary particles, research that has been rewarded over the years by major discoveries - the latest of which was the Higgs boson in 2012 - and by Nobel prizes awarded to laboratory employees, such as Carlo Rubbia.

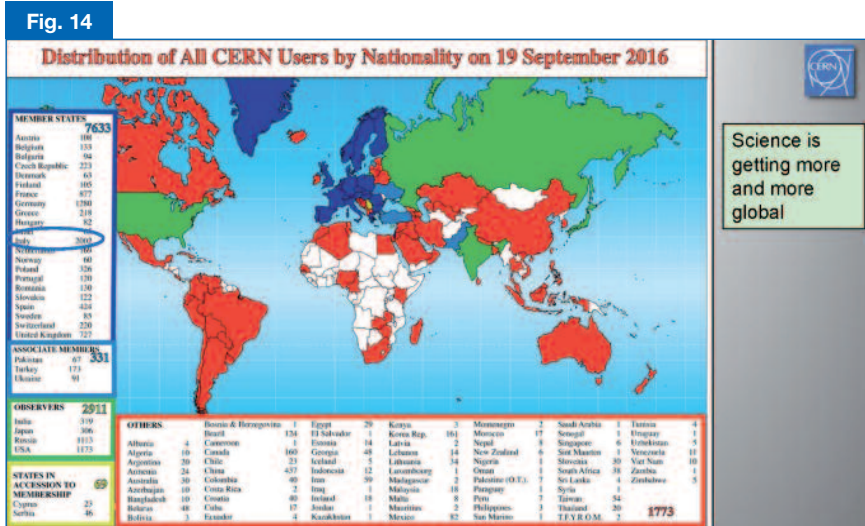
It is also a place where the scientific objectives, which are very ambitious, require the development of advanced technologies in many fields: electronics, superconducting materials, vacuum techniques, cryogenics, data processing, information technology. The technological progress is then transferred to society completely openly; we do not have patents or exclusive licenses because we are a research laboratory financed by public funds. This is the case of the Web, perhaps the product that has had the greatest impact of all CERN's technological transfers, which is free and accessible to everyone. CERN is also a place where we educate and train young people, not just the scientists of tomorrow, but also high school students and teachers. It is a truly concrete example of peaceful collaboration at global level, as over 12,000 scientists work at CERN from across the world, with more than 110 different nationalities.

The laboratory was founded in 1954 at the initiative of a group of enlightened politicians and scientists, including the great Edoardo Amaldi, with the dual aim of, on one side, returning the axis of fundamental research from the United States - to which it had moved during the war - to Europe; on the other side, to create a center at which European nations could collaborate peacefully through research. The CERN convention is an absolutely brilliant document: it consists of two pages, but it contains concepts of exceptional modernity. It talks of "open science", of which we hear so much today, which was in the

assolutamente geniale: sono due pagine, ma contenenti concetti di una modernità eccezionale. Si parla di scienza aperta, la “open science” di cui si parla tanto oggi, che era già nella convenzione del CERN del 1954, e di ricerca a scopi pacifici.

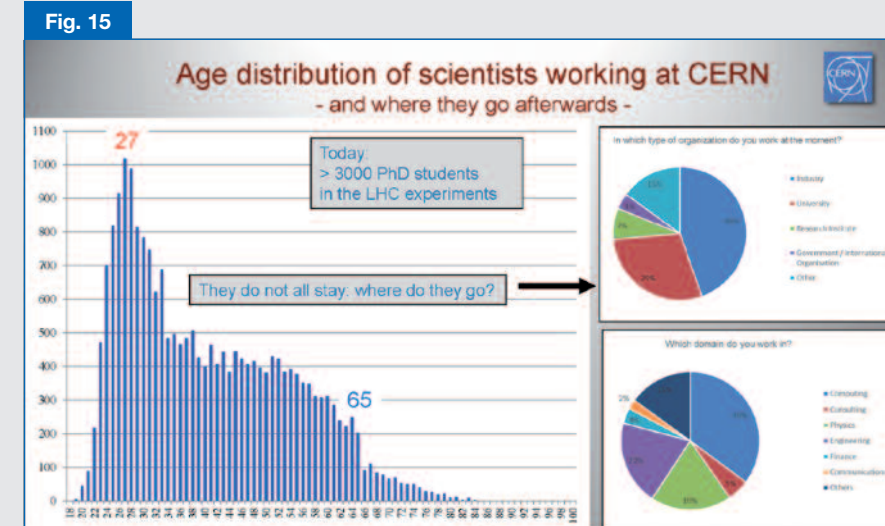
Oggi gli stati membri sono 22, il budget è di circa 1 miliardo di franchi svizzeri all’anno. Sembra tanto, ma vi ricordo che corrisponde in media a un cappuccino per cittadino europeo all’anno: questo è il contributo che l’Europa e quindi ciascuno di voi dà al CERN. Vi contribuiscono i paesi membri in modo proporzionale al loro prodotto interno netto. L’Italia è il quarto paese finanziatore, dopo Germania, Inghilterra e Francia, e contribuisce con circa 120 milioni di franchi svizzeri all’anno. Questo budget viene utilizzato per gli stipendi del personale dipendente, ma soprattutto per sviluppare le infrastrutture di ricerca, gli acceleratori, i laboratori che attirano scienziati da tutto il mondo. Questa è la mappa degli scienziati, principalmente fisici ma anche ingegneri e tecnici che contribuiscono alle attività del CERN, parliamo di 12.500 persone. Alcuni di questi scienziati vengono da paesi in guerra o da paesi che addirittura non si riconoscono l’un l’altro il diritto all’esistenza, ma al CERN lavorano insieme animati da una comune passione per la conoscenza. Vedete anche che il contingente italiano di circa 2000 persone: è quello, dal punto di vista di passaporto, più elevato. (figura 14)

Non tutti questi italiani però sono impiegati di università ed enti di ricerca italiani, alcuni di essi sono all’estero per motivi vari. Se pensate che questi scienziati siano tutti un po’ noiosi e attempati vi sbagliate, perché questo grafico mostra la distribuzione anagrafica e il picco è a 27 anni. (figura 15) C’è anche una lunga coda che si estende fino a 90 anni, ma la maggior parte della popolazione è giovane, più del 50% dei fisici provenienti da tutto il mondo che lavorano al CERN è sotto i 35 anni. Non tutti rimangono nella ricerca: circa la metà al primo impiego, quindi a livello di post-doc, rimane nel campo accademico e della ricerca, l’altra metà viene invece assorbita



CERN convention in as early as 1954, and of research for peaceful purposes. Today, there are 22 member states. The budget is approximately 1 billion Swiss francs per year. It seems a lot, but I remind you that it corresponds, on average, to one cappuccino per European citizen per year: this is the contribution that Europe and each one of you give to CERN. The member states contribute to it in proportion to their net domestic product. Italy is the fourth biggest donor country after Germany, Britain and France, and its contribution is approximately 120 million Swiss francs per year. This budget is used for the salaries of the employees, but above all to develop research infrastructures, accelerators and laboratories that attract scientists from across the world. This is the map of scientists, mostly physicists but also engineers and technicians who contribute to CERN’s activities; we are talking about 12,500 people. Some of these scientists come from countries at war or from countries that do not even recognize each other’s right to exist, but at CERN they work together, inspired by a common passion for knowledge. You will also see the Italian contingent of approximately 2,000 people: it is, from the passport perspective, the highest. (figure 14)

Not all these Italians, however, are employees of Italian universities and research bodies; some of them are abroad for other reasons. If you envisage these scientists as all being a bit boring and ancient then you are wrong, because this graph shows the age distribution and the peak is at 27 years old (figure 15). There is a long tail that spreads as far as up to 90 years old, but the majority of the population is young - over 50% of physicists coming from across the world to work at CERN are under 35 years old: a very young environment. However, they do not all remain in research. About half in their first job, thus at post-doc level, remain in the academic field and in research, while the other half are absorbed into industry in the fields of communications, finance and computing, in various sectors. These young people trained at CERN are in high demand, as fundamental physics develops a certain analytical vision of things, but also due to their



dall'industria nel campo delle comunicazioni, della finanza, del computing, in vari settori.

Questi giovani formati al CERN sono molto richiesti perché la fisica fondamentale sviluppa una certa visione analitica delle cose, ma anche per la loro capacità di interagire e di operare in un ambiente internazionale. Dal momento che molti giovani sono impiegati al CERN, l'educazione e la formazione rientrano tra le nostre missioni principali attraverso varie iniziative. Abbiamo istituito scuole per giovani dottorati e post-doc, inizialmente in Europa e in Russia e successivamente in America Latina, l'ultima l'anno scorso in Ecuador. Quest'anno siamo in Cina, a Pechino e anche in Africa, quest'anno in Ruanda, due anni fa in Senegal, in Ghana e in Sud Africa. Abbiamo anche corsi per studenti delle scuole superiori e un programma di insegnanti delle scuole superiori che trascorrono circa un paio di settimane al CERN in estate, durante le quali ricevono un complemento di formazione in fisica sperimentale. Dall'inizio del programma 15 anni fa abbiamo accolto circa 10.000 insegnanti delle scuole superiori di cui circa 550 italiani. Ogni anno accogliamo circa 120.000 visitatori che vengono a vedere il CERN, che siete chiaramente tutti invitati a visitare. In realtà abbiamo 300.000 richieste, ma riusciamo a soddisfarne soltanto 120.000 e il 60% provengono dalle scuole, quindi giovani.

La missione primaria del CERN è comunque la scienza: la ricerca in fisica fondamentale. Quello che noi studiamo sono le particelle elementari, cioè i costituenti più fondamentali dell'universo e fra questi anche i costituenti fondamentali della materia, gli elettroni e i quark. (figura 16)

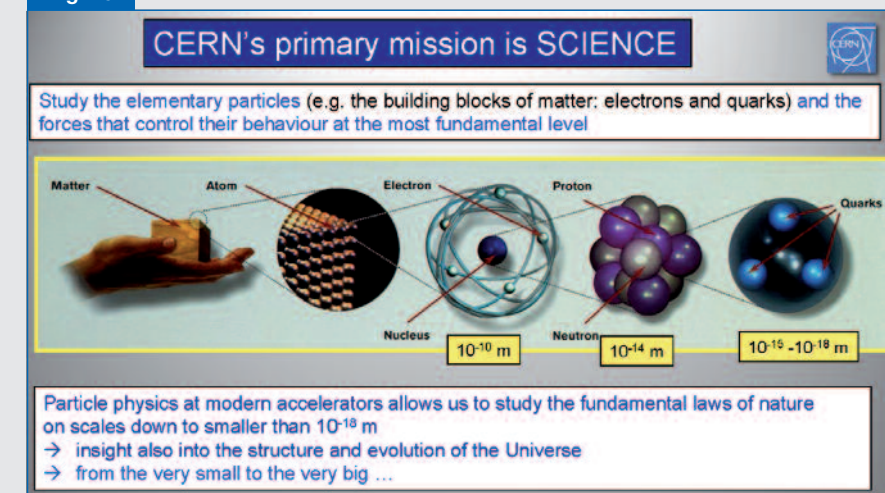
Come sapete la materia è fatta di atomi e gli atomi a loro volta sono fatti da un nucleo centrale e da una nuvola di elettroni. Il nucleo, a sua volta, è fatto di protoni e neutroni che non sono particelle elementari, ma a loro volta sono fatti di particelle più piccole chiamate quark. Per quanto ne sappiamo oggi, quark ed elettroni sono particelle elementari, cioè non possono essere scomposti in particelle più piccole e sono i costituenti fondamentali della materia. Quindi tutto quello che voi vedete in questa stanza, questo fazzoletto, questo microfono, tutti voi, siamo tutti fatti di elettroni e di quark. Ora, la fisica ha gli acceleratori moderni e il Large Hadron Collider, di cui vi parlerò tra poco, è il più potente acceleratore costruito dall'uomo e ci permette di studiare la materia su scale di quark, quindi un milionesimo

ability to interact and operate in an international environment. As we have many young people, education and training thus fall among our main missions through various initiatives. We have schools for young PhDs and post-docs: initially, these schools were in Europe and in Russia and then we started to go to Latin America: the most recent was last year in Ecuador. This year we are in China, while next week the CERN Asia school will take place in Peking and also in Africa, this year in Ruanda, two years ago in Senegal, in Ghana and in South Africa. We also have courses for high school students and a program for high school teachers who spend a couple of weeks at CERN in summer, when we give them complete training on experimental physics. Since the start of the program 15 years ago, we have welcomed roughly 10,000 high school teachers, including approximately 550 Italians. Each year we have roughly 120,000 visitors who come to see CERN, which you are all obviously invited to visit. In actual fact, we receive 300,000 requests, but we can only satisfy 120,000 of them and 60% come from schools, so they are young people.

CERN's primary mission is, however, science: research into fundamental physics. What we study are elementary particles, i.e. the most basic constituents of the universe and among these also the fundamental constituents of matter: electrons and quarks. (figure 16)

As you know, matter is made up of atoms, and atoms, in turn, are made up of a central nucleus and a cloud of electrons. The nucleus, in turn, is made up of protons and neutrons, which are not elementary particles, but are, in turn, made up of smaller particles known as quarks. Insofar as we know today, quarks and electrons are elementary particles; i.e. they cannot be broken down into smaller particles and they are the fundamental constituents of matter. Therefore, everything you see in this room - this handkerchief, this microphone, all of you - is made up of electrons and quarks. Nowadays, physics has modern accelerators, and the Large Hadron Collider, which I will tell you about shortly, it's the strongest accelerator built by man, and it allows

Fig. 16

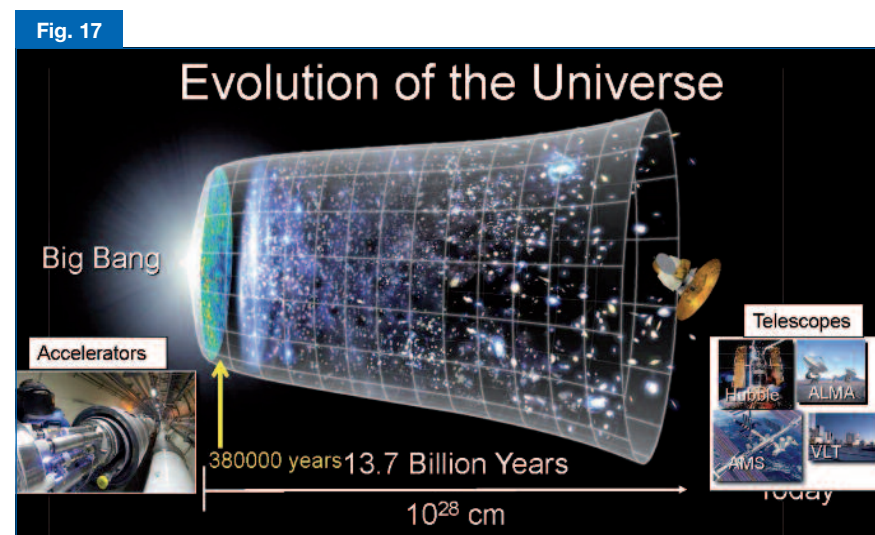




di miliardesimo di metro. Questi acceleratori possono essere visti un po' come dei microscopi giganteschi e potentissimi che invece di dare accesso alle cellule ci permettono di studiare la materia nei suoi costituenti più fondamentali. Questo ci permette anche di capire la struttura e l'evoluzione dell'universo, quindi se vogliamo "l'infinitamente" piccolo ci permette di capire l'infinitamente grande.

Il motivo è il seguente: oggi noi sappiamo, non soltanto dalla cosmologia, ma anche da misure sperimentali di astrofisica e di fisica astro-particellare molto precise, che l'universo ha avuto origine 13,7 miliardi di anni fa da una grande esplosione chiamata Big Bang. All'inizio, al momento dell'esplosione, l'universo era molto caldo e denso, era essenzialmente un gas di particelle elementari. Dunque, studiando le particelle elementari, possiamo capire i fenomeni che hanno caratterizzato l'universo bambino. Con il tempo l'universo si è espanso e si è raffreddato e queste particelle elementari hanno cominciato ad aggregarsi formando i neutroni, i protoni, poi i nuclei e gli atomi degli elementi più leggeri, poi le macrostrutture che conosciamo oggi: i pianeti, le stelle e le galassie. Gli acceleratori sono quindi complementari all'approccio all'universo dei telescopi. Grandi telescopi studiano grandi oggetti, i macro oggetti, mentre noi studiamo gli oggetti piccolissimi, che però hanno caratterizzato l'universo iniziale. I telescopi che si basano sulla rivelazione della luce, i raggi gamma, hanno in realtà un muro nel tempo, cioè non possono andare indietro nel tempo più di 380.000 anni dal Big Bang. Il motivo è che, in epoche precedenti a questi 380.000 anni, la luce era intrappolata da questo gas di particelle, non usciva e non è mai arrivata fino a noi. Per cui i telescopi, basati su rivelazioni di luce, non possono studiare epoche precedenti e invece gli acceleratori ci permettono di andare a epoche ancora più vicine al Big Bang. Arriviamo oggi a un milionesimo di milionesimo di secondo dopo il Big Bang. (figura 17)

Come si fa in pratica? La descrizione che darò succintamente nei prossimi



us to study matter on the scale of quarks, thus a billionth of a billionth of a meter. These accelerators can be seen as something like gigantic and powerful microscopes which, rather than giving access to cells, allow us to study matter in its most fundamental constituents. They also allow us to understand the structure and evolution of the universe, so, if you like, the "infinitely" small allows us to understand the infinitely large.

Allow me to explain: today we know, not only from cosmology but also from very precise experimental measurements of astrophysics and astroparticle physics, that the universe originated 13.7 billion years ago from a large explosion known as the Big Bang. Initially, at the time of the explosion, the universe was very hot and dense; it was essentially a gas of elementary particles. Thus, by studying elementary particles, we can understand the phenomena that characterized the early universe. Over time, the universe expanded and cooled down and these elementary particles started to aggregate, forming neutrons, protons, then nuclei and atoms of the lightest elements, then the macrostructures that we know today: the planets, stars and galaxies. The accelerators are therefore complementary to the approach to the universe of telescopes. Large telescopes study large objects, macro-objects, while we study extremely small objects, which characterized the initial universe. Telescopes that are based upon the detection of light, gamma rays, have, in fact, a wall in time, i.e. they cannot go backwards in time more than 380,000 years from the Big Bang. The reason is that, in eras prior to these 380,000 years, light was trapped by this gas of particles, it did not come out and it never reached us. This means that telescopes based upon detections of light cannot study previous eras while, on the other hand, accelerators allow us to go to eras even closer to the Big Bang. Today, we reach a millionth of a millionth of a second after the Big Bang. (figure 17)

How is this done in practice? The description that I am succinctly going to give now is not very thorough from a scientific perspective so I hope it stays within this small audience. What we do is accelerate two beams of particles, that is, two beams of protons, with very high energy, the highest energy that we are able to achieve, and we make them collide. To do this, we use the accelerators, which are a set of electrical and magnetic fields, usually installed in underground rings. When the protons collide together at great speed and at great energy they split into a thousand pieces.

secondi non è molto rigorosa dal punto di vista scientifico, quindi spero che rimanga in questa piccola audience. Quello che facciamo è accelerare due fasce di particelle, cioè due fasci di protoni, ad altissima energia, l'energia più elevata che riusciamo a raggiungere, e farle scontrare. Per fare ciò usiamo gli acceleratori che sono un insieme di campi elettrici e magnetici solitamente installati in anelli sotterranei. Quando i protoni si scontrano a grande velocità e a grande energia vanno per così dire in mille pezzi.

Se fate scontrare due automobili, due Ferrari, ad altissima velocità, vanno in mille pezzi e così riusciamo a capire come sono fatte. I protoni non sono elementari, sono fatti di quark e di gluoni, che sono altre particelle che tengono i quark assieme come la colla, e questi scontri, provocando la distruzione del protone, ci permettono di capire come è fatto. Allo stesso tempo in questo scontro si produce molta energia e questa energia può produrre particelle nuove. Più alta è l'energia dello scontro e dell'acceleratore, più massive possono essere le particelle prodotte. Questo è il motivo per cui il bosone di Higgs non è stato scoperto dagli acceleratori precedenti nonostante sia stato cercato per quasi 50 anni, ma è stato scoperto al CERN perché solo al CERN l'acceleratore Large Hadron Collider ha il potere energetico di produrre con tassi frequenti questa particella relativamente pesante. Infine l'energia che si produce nella collisione corrisponde a una certa temperatura, perché energia e temperatura sono due manifestazioni diverse di una stessa quantità, e questa energia corrisponde alla temperatura che l'universo aveva un milionesimo di milionesimo di secondo dopo il Big Bang. Noi siamo in grado di riprodurre in modo controllato l'universo primordiale. Per fare ciò circondiamo il punto di collisione dei fasci di protoni con degli strumenti grandissimi, delle dimensioni di un edificio, che si chiamano rivelatori di particelle, strumenti tecnologicamente molto avanzati che coprono l'intero angolo solido, e ci permettono di rivelare e studiare ciascuna particella prodotta nella collisione così che siamo in grado di ricostruire l'evento di collisione. In pratica se gli acceleratori sono un po' come dei microscopi, gli esperimenti rivelatori sono un po' come delle grandi macchine fotografiche digitali che scattano fotografie, solo che devono essere molto veloci perché i due fasci di protoni si scontrano 40 milioni di volte al secondo.

Il più potente acceleratore mai costruito dall'uomo è LHC, Large Hadron Collider, al CERN. Si tratta di un anello di 27 km, 100 metri sotto terra. In

If you make two cars, two Ferraris, collide at high speed, they split into a thousand pieces and this is how we are able to understand how they are made. Protons are not elementary, they are made up of quarks and gluons, which are other particles that hold the quarks together like glue, and these collisions, through the destruction of the proton, allow us to understand how it is made. At the same time, great energy is produced in this collision and this energy can produce new particles. The higher the energy of the collision and the accelerator, the more massive the particles produced can be. This is the reason why the Higgs boson was not discovered by previous accelerators despite it being sought for almost 50 years, but it was discovered at CERN because it is only at CERN that the Large Hadron Collider accelerator has the energy power to produce this relatively heavy particle with frequent rates. Finally, the energy produced in the collision corresponds to a certain temperature, because energy and temperature are two different manifestations of the same quantity, and this energy corresponds to the temperature of the universe a millionth of a millionth of a second after the Big Bang. We are able to reproduce the primordial universe in a controlled manner. To do this, we surround the collision point of the proton beams with very large instruments, of a building's dimensions, which are called detectors, technologically very advanced instruments that cover the entire solid angle and allow us to reveal and study each particle produced in the collision so that we are able to reconstruct the collision event. In practice, if the accelerators are a little like microscopes, the detecting experiments are a little like large digital cameras that take photographs, only they have to be very quick because the two proton beams collide 40 million times per second.

The most powerful accelerator ever built by man is the LHC, Large Hadron Collider, at CERN. It is a ring of 27 km, 100 meters underground. In this slide you can see a photograph of the Geneva region: in the background are the Alps and Lake Geneva, the dashed line indicates the border between Switzerland, in the top part of the figure, and France, in the lower part, and this yellow ring indicates the position of the 27 km ring of the Large Hadron Collider accelerator which is clearly not visible on the surface, as it is underground. (figure 18)

The operation was started in 2010 when we made, for the first time, two beams of protons circulate in opposite directions, accelerating them up to

questa diapositiva vedete una fotografia della regione di Ginevra, sullo sfondo le Alpi, il lago di Ginevra, la linea tratteggiata indica la frontiera tra la Svizzera, nella parte alta della figura, e la Francia, nella parte bassa, e questo anello giallo indica la posizione dell'anello di 27 km dell'acceleratore Large Hadron Collider che chiaramente non è visibile in superficie perché è sottoterra. (figura 18)

L'operazione è iniziata nel 2010, abbiamo fatto circolare per la prima volta due fasci di protoni in direzioni opposte accelerandoli fino a energie senza precedenti e li abbiamo fatti scontrare in quattro punti dell'anello dove, in quattro grandi caverne sotterranee, avevamo installato quattro grossi apparati sperimentali: quattro grossi esperimenti chiamati ATLAS, CMS, LHCb e ALICE. Due anni dopo la messa in funzione, il 4 luglio del 2012, abbiamo annunciato la scoperta nei due esperimenti più grandi e di carattere più generale, ATLAS e CMS, di una nuova particella molto speciale: il bosone di Higgs, su cui poi tornerò brevemente.

L'Italia ha partecipato e da sempre partecipa a questa grande avventura scientifica, tecnologica e anche umana, in modo molto importante attraverso l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - oggi è qui con noi il Presidente, il professor Fernando Ferroni - le università associate e l'industria, contribuendo attraverso tecnologia, risorse finanziarie, risorse umane, e anche in particolare con gruppi dell'Università Statale di Milano e di Milano-Bicocca. Alcuni di loro sono in sala oggi, ci sono molti fisici qui questa mattina.

L'LHC ha richiesto lo sviluppo di tecnologie di punta in moltissimi campi, concetti nuovi, salti nel sapere e gli sforzi della comunità scientifica internazionale per circa 20 anni. Un progetto difficilissimo con grandissime sfide tecnologiche. Ad esempio questa fotografia molto suggestiva mostra il tunnel sotterraneo dell'acceleratore, 100 metri sottoterra, e questi tubi blu che vedete contengono magneti superconduttori di ultimo grido che sono l'ossatura della macchina e sono senz'altro l'elemento principale che ci ha permesso di raggiungere energie senza precedenti. (figura 19)

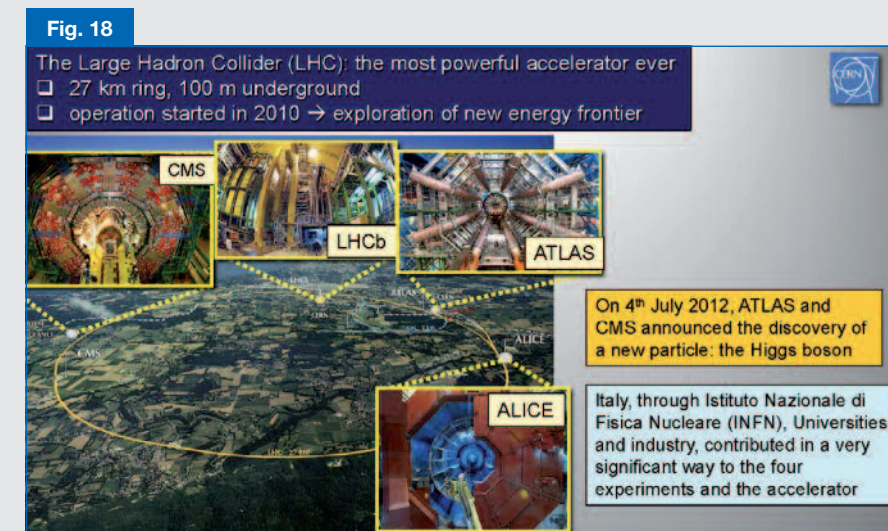
Questi magneti sono in numero di circa 1200 e sono stati costruiti in proporzione di un terzo ciascuna da tre grandi aziende europee: l'Alstom in Francia, l'Ansaldo in Italia, e la Babcock Noell, in Germania. Sono magneti che devono portare correnti di 12.000 ampere e devono essere

unprecedented energies and making them collide in four points of the ring where, in four large underground caverns, we had installed four large experimental apparatus: four large experiments known as ATLAS, CMS, LHCb and ALICE. Two years after the initial operation, on 4 July 2012, we announced the discovery in the two largest and more general experiments, ATLAS and CMS, of a new very special particle: the Higgs boson, to which I will return shortly.

Italy participated and has always participated in this great scientific, technological and even human adventure, in a very important way through the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (National Institute of Nuclear Physics) - its President is here with us today, Professor Fernando Ferroni -, the associated universities and industry, contributing through technology, financial resources, human resources, and also in particular with groups from the University of Milan and Milan-Bicocca. Some of them are in the room today; we have quite a few physicists here this morning.

The LHC required the development of advanced technologies in very many fields, new concepts, leaps in knowledge and efforts of the international scientific community for roughly 20 years. It was a very difficult project with very taxing technological challenges. For example, this very evocative photograph shows the underground tunnel of the accelerator, 100 meters underground, and these blue tubes that you see contain the latest superconducting magnets which are the backbone of the machine and are undoubtedly the main element that allowed us to achieve unprecedented energies. (figure 19)

There are around 1,200 of these magnets and they were built, in the proportion of one-third each, by three major European companies: Alstom in France, Ansaldo in Italy, and Babcock Noell in Germany. These magnets must carry currents of 12,000 amperes and must be superconducting. You are aware that superconducting materials work at very low temperatures; in fact, the LHC magnets work at 1.9° K i.e. -271° centigrade, which makes the LHC





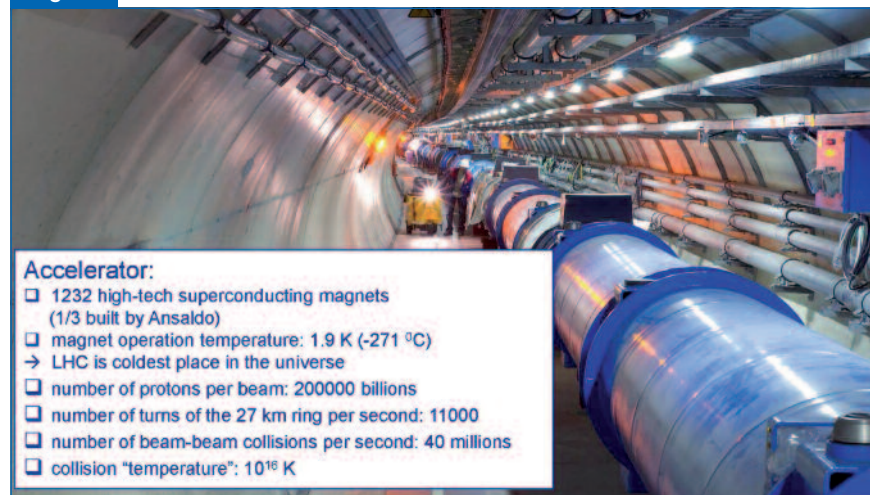
superconduttori. Sapete che i materiali superconduttori lavorano a temperature molto basse, infatti i magneti dell'LHC lavorano a 1.9° K cioè -271° centigradi, il che rende l'LHC il punto più freddo dell'universo, come spesso diciamo noi, perché, come ho detto poc'anzi, l'universo ha avuto origine da una grande esplosione, il Big Bang, che poi si è espanso e raffreddato. Se voi vi chiedete qual è la temperatura media oggi dell'universo, la temperatura è 3° K. L'LHC opera a 1.9° K, quindi siamo più freddi dell'universo, dello spazio che ci circonda. Allo stesso tempo è un posto molto caldo perché le energie di collisione corrispondono a temperature di 10<sup>16</sup> K, per cui 100.000 miliardi di volte la temperatura in questa stanza e nei fasci di protoni circolano circa 200.000 miliardi di protoni in ogni momento che si scontrano 40 milioni di volte al secondo.

Gli esperimenti rivelatori non sono da meno. Questa è un'altra immagine suggestiva di ATLAS, il più grosso dei quattro esperimenti, lungo 45 metri e alto 25, le dimensioni sono circa metà Notre Dame. (figura 20)

L'altro esperimento, CMS, è molto pesante, 13.000 tonnellate, pesa più della Tour Eiffel e contiene più ferro. Anche il cuore di questi esperimenti, la loro dimensione, è qualcosa che ci colpisce fin da subito. Quando scendete in queste caverne sotterranee e vedete questi rivelatori complicatissimi, la loro dimensione vi dà una grande emozione, ma il cuore di questi esperimenti, la parte centrale che si estende su pochissimi metri, è fatta di circa 100 milioni di pixel di silicio delle dimensioni di pochi micron – un micron è 1 milionesimo di metro – e ci permette di misurare ciascuna traiettoria delle particelle prodotte nelle interazioni con precisione micrometrica. La quantità di dati che registriamo ogni anno è pari a decine di petabyte, quindi superiore al traffico su YouTube, Twitter, eccetera.

Sorge spontanea la domanda: per quale motivo ci siamo imbarcati in questa avventura così tecnologicamente difficile e in queste sfide così complicate e complesse? Il motivo è il seguente: il Large Hadron Collider è stato concepito, sviluppato e costruito allo scopo di affrontare alcune domande fondamentali e

Fig. 19



the coldest point of the universe, as we often say, because, as I just said, the universe originated from a large explosion, the Big Bang, which then expanded and cooled. If you are wondering what the average temperature of the universe is today, it is 3° K. The LHC operates at 1.9° K; therefore, we are colder than the universe, than the space that surrounds us. At the same time, it is a very hot place because the collision energies correspond to temperatures of 10<sup>16</sup> K, meaning 100,000 billion times the temperature in this room, with about 200,000 billion protons circulating in the proton beams at any given time and colliding 40 million times per second.

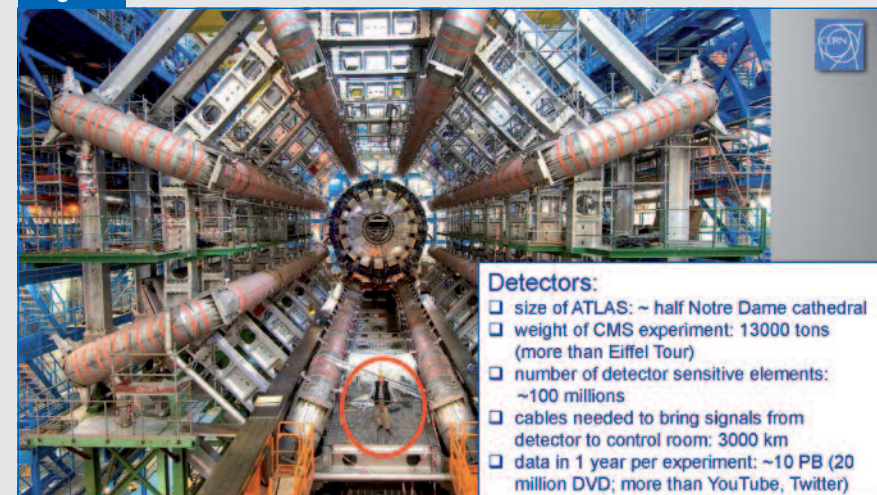
The detector experiments are no exception. This is another evocative image of ATLAS, the largest of the four experiments, 45 meters long and 25 meters high, the dimensions are approximately half of Notre Dame. (figure 20)

The other experiment, CMS, is very heavy, 13,000 tons; it weighs more than the Eiffel Tower and contains more iron. Even the heart of these experiments, their dimension, is something that strikes us immediately. When you go down to these underground caverns and you see these very complicated detectors, their size is truly amazing, but the heart of these experiments, the central part that extends over a few meters, is made up of approximately 100 million pixels of silicon of the dimensions of a few microns - one micron is 1 millionth of a meter – and it allows us to measure each trajectory of the particles produced in the interactions with micrometric precision. The quantity of data that we record every year amounts to dozens of petabytes, so it is greater than the traffic on YouTube, Twitter, etc.

The question arises: why did we embark on such a technologically difficult adventure and with such complicated and complex challenges? The reason is the following: the Large Hadron Collider was conceived, developed and built with the aim of addressing some fundamental and very important questions in our knowledge of fundamental physics.

Question number one: what is the origin of the masses of elementary particles? The answer to this question is the Higgs boson; therefore, we

Fig. 20





molto importanti nella nostra conoscenza della fisica fondamentale. Domanda numero uno: qual è l'origine delle masse delle particelle elementari? La risposta a questa domanda è il bosone di Higgs, quindi a questa domanda abbiamo risposto. Può sembrare una domanda molto astrusa e lontana dalla realtà, ma vorrei sottolineare che se i quark e gli elettroni, che come ho detto sono i costituenti fondamentali degli atomi e di tutti noi, non avessero massa, gli atomi non starebbero assieme e non ci sarebbe la chimica, non ci saremmo noi e non ci sarebbe l'universo. Noi esistiamo solo perché la massa degli elettroni e dei quark è una quantità fondamentale e fino a 3-4 anni fa, non sapevamo come i quark e gli elettroni potessero acquistare una massa e oggi lo sappiamo, almeno in gran parte, attraverso il meccanismo di Higgs. Ma ci sono altre domande. La domanda numero due è: di che cosa è fatto il 95% dell'universo? Perché in effetti quando voi guardate il cielo stellato la sera e vedete le stelle, le galassie e tutte queste cose bellissime, quello che vedete è il 5% dell'universo. Il resto, il 95%, è oscuro, è invisibile, si parla di Dark Universe. È fatto di forme di materia ed energia, chiamate materia oscura ed energia oscura, che si chiamano oscure proprio perché non abbiamo la più pallida idea di che cosa siano fatte. Sappiamo che ci sono ma queste forme di materia ed energia non interagiscono con i nostri strumenti, quindi ne abbiamo evidenza da prove indirette. Uno degli scopi di LHC è di poter per esempio scoprire la particella responsabile della materia oscura, il che ci permetterebbe di aumentare la nostra conoscenza dell'universo dal 5% di oggi a circa il 30%. L'universo è fatto principalmente di materia. Dov'è finita l'antimateria? L'antimateria è assolutamente innocua, anche se spesso si sente dire che è pericolosa, è la materia con la carica di segno opposto, per dirla in maniera molto semplice. All'epoca del Big Bang pensiamo che materia e antimateria fossero presenti in quantità simili o uguali, ma oggi l'antimateria è scomparsa e non capiamo perché. E quindi rimangono molte altre domande importanti. Vorrei avere il tempo di parlare del bosone di Higgs, magari spiegare in modo semplice il suo ruolo importante e il meccanismo di Brout-Englert-Higgs, ma temo di non averne il tempo. Vorrei quindi spendere qualche minuto sul contributo dell'Italia al CERN e quello che l'Italia ottiene in cambio dal CERN. L'Italia ha chiaramente una tradizione storica molto importante nella fisica



have answered this question. It may seem like a very abstruse question, far from reality, but I should emphasize that if the quarks and electrons, which, as I have said, are fundamental constituents of atoms and of all of us, did not have mass, the atoms would not stay together and there would be no chemistry, there would be no us and there would be no universe. We only exist because the mass of electrons and quarks is a fundamental quantity. Until 3-4 years ago, we did not know how quarks and electrons could acquire a mass but today we know why, at least mostly, through the Higgs mechanism.

There are other questions, though. Question number two is: what is 95% of the universe made of? Because when you actually look at the starry sky in the evening and you see the stars, galaxies and all these beautiful things, what you see is 5% of the universe. The rest, 95%, is hidden; it is invisible. I am talking about the Dark Universe. It is made up of forms of matter and energy, known as dark matter and dark energy, which are called dark because we do not have the slightest idea what they are made from. We know that they are there but these forms of matter and energy do not interact with our instruments; therefore, our evidence of them is indirect. One of the purposes of the LHC is to be able, for example, to discover the particle responsible for dark matter, which would allow us to increase our knowledge of the universe from 5% of today to approximately 30%. The universe is mainly made up of matter. Where is the antimatter? Antimatter is absolutely innocuous, although it is often said that it is dangerous, it is matter with the opposite charge, to put it very simply. At the time of the Big Bang we think that matter and antimatter were present in similar or the same quantities, but today antimatter has disappeared and we do not understand why. So, many other important questions remain.

I wish I had time to talk about the Higgs boson, perhaps to explain simply its important role and the mechanism of Brout-Englert-Higgs, but I'm afraid we do not have the time. I would like, therefore, to spend a few minutes talking about Italy's contribution to CERN and what Italy obtains from CERN in return.

Italy clearly has a very important historical tradition in fundamental physics, in particle physics, dating back to Fermi and his collaborators, which then propagated and expanded over the years with very many great



fondamentale, nella fisica delle particelle che risale a Fermi e ai suoi collaboratori e che poi si è propagata e amplificata negli anni con tantissimi grandi scienziati e fisici. L'Italia è un paese membro fondatore del CERN, ho citato Edoardo Amaldi poco fa. Nell'arco di sessant'anni ha avuto quattro direttori, molti scienziati italiani in posizioni di responsabilità e di grande prestigio, un premio Nobel, Carlo Rubbia, e continua a dare contributi intellettuali tecnologici di primissimo piano grazie all'INFN e alle università associate che hanno trascinato in questa avventura anche la nostra industria. Oggi la lista dei fornitori attivi del CERN contiene 1100 aziende italiane e il ritorno in termini di commesse industriali oggi è di circa 35 milioni di euro su un contributo al budget di 120 milioni di euro. Negli anni della costruzione del Large Hadron Collider, fra il 2000 e il 2007, in realtà il ritorno in commesse industriali superava di circa il 10-15% il contributo dell'Italia al budget del CERN. L'industria italiana è un partner molto forte del CERN. Un altro aspetto molto interessante del CERN è il modello di gestione e amministrazione, o come si dice di governance. Noi siamo oggetto di studi da parte di sociologi, business school, amministratori e capi d'impresa perché è difficile capire come migliaia di scienziati di tutto il mondo, di fisici, ingegneri e tecnici possano lavorare insieme in modo efficace, costruire strumenti di una complessità inaudita e sviluppare tecnologie al limite delle conoscenze. Per esempio i due esperimenti principali che operano al Large Hadron Collider, ATLAS e CMS, coinvolgono ciascuno 3000 scienziati di circa 40 paesi. I rivelatori mostruosi, enormi ed estremamente complessi che avete visto hanno delle componenti disegnate, costruite e realizzate da centinaia di ingegneri e fisici provenienti da centinaia di istituti in tutto il mondo e poi assemblate al CERN. Come è possibile che tutto funzioni così bene? Inoltre, i contributi dei vari paesi e degli istituti che partecipano a questa impresa si basano su memoranda d'intesa che non hanno un vincolo legale forte di qualche tipo, si basano semplicemente su una firma, sull'onore, sull'impegno morale di questi istituti a partecipare alle imprese del CERN. Penso che ci siano vari motivi per questo successo. Innanzitutto l'autorità non proviene dalla gerarchia, essere a capo dell'esperimento non significa poter decidere cosa si fa. Abbiamo un'organizzazione, altrimenti sarebbe impossibile far funzionare questi strumenti enormi in modo efficace e arrivare a delle scoperte in pochissimo tempo, come nel caso del bosone di Higgs, ma la

scientists and physicists. Italy is a founding member country of CERN, I mentioned Edoardo Amaldi a short while ago. Over the space of sixty years, it has had four directors, many Italian scientists in positions of responsibility and great prestige, one Nobel prizewinner, Carlo Rubbia, and it continues to give intellectual technological contributions of the very top grade thanks to the INFN and the associated universities that have brought our industry into this adventure. Today, CERN's list of active suppliers contains 1100 Italian companies and the return in terms of industrial orders is now approximately 35 million Euros on a contribution to the budget of 120 million Euros. Over the years of construction of the Large Hadron Collider, between 2000 and 2007, in actual fact the return in industrial orders exceeded by about 10-15% Italy's contribution to CERN's budget. Italian industry is a very strong partner of CERN. Another very interesting aspect of CERN is the management and administration model, or, as they say, governance model. We are the subject of studies by sociologists, business schools, administrators and business leaders because it is difficult to understand how thousands of scientists from across the world, physicians, engineers and technicians, can work together effectively, building instruments of unheard complexity and developing technologies at the limit of knowledge. For example, the two main experiments that are operating at the Large Hadron Collider, ATLAS and CMS, each involve 3000 scientists from around 40 countries. The humungous, enormous and extremely complex detectors that you have seen have components designed, constructed and created by hundreds of engineers and physicists originating from hundreds of institutions across the world and then assembled at CERN. How is it possible for all this to function so well? In addition, the contributions of the various countries and institutions that participate in this enterprise are based upon memoranda of understanding that have no strong legal bond of any type; they are simply based on a signature, on honor, on the moral commitment of these institutions to participate in CERN's enterprises. I think there are various reasons for this success. Primarily, authority does not originate from hierarchy; it is not because a person is the head of the experiment that this person must decide what is done. We have an organization, otherwise it would be impossible to make these enormous





struttura è molto leggera e la burocrazia è minima. Il motivo è che i motori della ricerca sono le idee, la creatività, l'iniziativa anche del singolo, soprattutto dei giovani, e quindi un'organizzazione pesante e burocratica soffocherebbe quello che è il vero spirito della ricerca. Le decisioni sono prese per consenso, che non vuol dire che tutti sono d'accordo, non è possibile mettere d'accordo 3000 fisici e ingegneri o 12.000 persone, ma le decisioni e le strategie si discutono assieme, in un processo aperto e trasparente. Alla fine le persone in carica di un certo numero di progetti devono tirare le conseguenze, ma tutti hanno la possibilità, anche i più giovani, di esprimere la loro opinione: se il più giovane degli studenti ha l'idea giusta, può influenzare il corso dell'esperimento. L'aspetto forse più importante è che siamo tutti animati da una forte passione per un interesse comune, la conoscenza, che come l'arte è un valore universale che trascende il passaporto, il colore della pelle, la provenienza, le credenze politiche o religiose, e in qualche modo pensiamo nel nostro piccolo di fare qualcosa di nobile per l'umanità, aiutare a far progredire la conoscenza. Leonardo da Vinci, che senz'altro se ne intendeva di queste cose, diceva "Non c'è niente di più nobile che la gioia del comprendere", in termini di soddisfazione.

Aprondo una parentesi un po' più personale, questo, in effetti, è stato un po' il motore che mi ha portato alla scelta di lavorare nella ricerca fondamentale, non dico neanche ricerca fondamentale nel campo scientifico perché, come il Rettore Sironi ha detto in modo molto chiaro, la ricerca è trasversale e la conoscenza è una conoscenza comune. Sono molto irritata quando si vuole strutturare e dividere le forme del sapere in compartimenti stagni: l'umanesimo, le scienze dure, l'economia... la conoscenza è comune, è un bene globale dell'uomo e non va divisa. Ma io appunto sono un esempio di unificazione del sapere, in qualche modo, perché il mio percorso educativo e formativo è stato attraverso studi classici, liceo classico, musica, quindi attività umanistica e artistica. Poi in realtà ho deciso di studiare fisica, che è una scienza dura, e ci sono vari motivi. Il principale forse è che ero molto curiosa e quindi mi ponevo moltissime domande. All'epoca non c'era il Web perché il CERN non l'aveva ancora inventato, ed era molto difficile avere risposte o le risposte che avevo dagli adulti non erano sempre soddisfacenti. La curiosità mi ha spinto verso le domande fondamentali, questo è il motivo per cui amavo molto anche la filosofia. Poi c'è stato un episodio molto



instruments work effectively and to achieve discoveries in a very short space of time, as in the case of the Higgs boson, but the structure is very light and bureaucracy is minimal. The reason is that the engines of research are ideas, creativity, initiative, even of the individual, particularly young people, and therefore a heavy and bureaucratic organization would suffocate the true spirit of the research. Decisions are made by consent, which does not mean that everyone is in agreement; it is not possible for 3000 physicists and engineers, or 12,000 people, all to agree, but the decisions and strategies are discussed together, in an open and transparent process. In the end, the people in charge of a certain number of projects must take the consequences but everyone has the opportunity, even the youngest people, of expressing their opinion. If the youngest of the students has the right idea, he or she can influence the path of the experiment. Perhaps the most important aspect is that we are all driven by a strong passion for a common interest - knowledge - which, like art, is a universal value that transcends nationality, skin color, origin, political or religious beliefs, and in some way we think we are doing something noble for humanity, helping to progress knowledge. Leonardo da Vinci, who certainly knew about these things, said: "The noblest pleasure is the joy of understanding", in terms of satisfaction.

On a more personal note, this was actually something that led me to the decision to work in fundamental research; I am not referring to fundamental research in the scientific field either because, as Rector Sironi has said much more clearly, research is transversal and knowledge is a common knowledge. I am very irritated when people try to structure and divide forms of knowledge into airtight compartments: humanism, the hard sciences, economics... Knowledge is common, it is a global asset of man and it should not be divided. But I, precisely, am an example of the unification of knowledge, in a way, because my educational and training path travelled through classical studies, classical high school and music, so humanistic and artistic activities. Then I actually decided to study physics, which is a hard science, and there were many reasons for this. The main reason perhaps was that I was very curious and therefore I was always asking myself lots of questions. At the time, there was no Web because CERN had not yet invented it, and it was very difficult to find answers, or the answers I received from



speciale: quando avevo 17 anni ho letto una biografia di Marie Curie che mi ha assolutamente abbagliata. Ho amato moltissimo quel modo domestico di fare ricerca. Marie Curie aveva il suo laboratorio con i campioni radioattivi in una stanza accanto alla cucina, quindi la sera preparava la zuppa, poi andava nella stanza accanto, cambiava il campione radioattivo e ritornava in cucina. Questo fatto che la ricerca può essere una parte importante della nostra vita di tutti i giorni mi ha molto attirato. Forse il motivo fondamentale era questo desiderio di poter contribuire nel mio piccolo a fare dei piccoli passi avanti nella conoscenza. La ricerca è un campo durissimo, è bellissima, è appassionante, ma estremamente dura. Tutti i campi del sapere sono duri, tutti i mestieri sono duri, ma nella ricerca bisogna veramente saper prendere dei rischi. In questo l'Università Bocconi, che mette a disposizione dei giovani dei fondi per attività anche rischiose, è senz'altro da lodare.

Circa 3 anni fa The Economist capì l'importanza della ricerca come modello di successo anche per il business, e scrisse un articolo intitolato "Titans of Innovation".

In questo articolo si diceva che forse la grande scienza, la Big Science, ha più da insegnare al Big Business che il contrario. Infatti il giornalista, il signor Schumpeter, è venuto al CERN un sabato mattina e ha fatto colazione nella nostra caffetteria, un posto bellissimo nel quale scienziati di tutto il mondo si incontrano, premi Nobel e giovani studenti fanno colazione tutti insieme, un ambiente ricchissimo dove le idee vengono sviluppate, ed è rimasto abbagliato per esempio nel vedere i nostri schermi. Noi abbiamo schermi dappertutto che in tempo reale ci fanno vedere quello che accade nei vari esperimenti nell'acceleratore e anche se per noi questo è normale lui ha dedotto da questi schermi che questa vita così ricca e così partecipe fosse un grande stimolo e una grande colla per le persone coinvolte in questi progetti.

Vorrei terminare con un paio di considerazioni sulla ricerca fondamentale, sono molto felice che il magnifico Rettore ne abbia già parlato in termini molto chiari. Nel 1939 un educatore americano, Abraham Flexner, scrisse un articolo bellissimo sull'utilità della scienza, della conoscenza inutile. In effetti spesso mi si chiede a che cosa serva il bosone di Higgs. È una conoscenza utile o è una conoscenza inutile? Mi si chiede se il bosone di Higgs cambierà la nostra vita. La mia risposta è che in realtà il bosone di Higgs ha già cambiato la nostra vita. Il motivo è che per arrivare a scoprirlo abbiamo dovuto



adults were not always satisfactory. Curiosity pushed me towards fundamental questions: this is why I really loved philosophy. Then, I had a very special moment: when I was 17 years old I read a biography of Marie Curie which absolutely dazzled me. I really loved her domestic way of doing research. Marie Curie had her laboratory with radioactive samples in a room next to the kitchen, so in the evening she prepared the soup, then she went into the next room, changed the radioactive sample and returned to the kitchen. This fact that research can be an important part of our everyday life greatly attracted me. Perhaps the fundamental reason was this desire to be able to contribute in my own small way to making small steps forward in knowledge. Research is a very tough field, it is beautiful, it is exciting, but extremely tough. All fields of knowledge are tough, all trades are hard, but in research you really have to be willing to take risks. Bocconi University, which provides young people with funds even for risky activities, is certainly to be commended in this.

About 3 years ago, The Economist grasped the importance of research as a model for success even for business and it published an article entitled "Titans of Innovation".

This article stated that Big Science perhaps has more to teach Big Business than the opposite. In fact, the journalist, Mr. Schumpeter, came to CERN one Saturday morning and had breakfast in our canteen, a beautiful place in which scientists from across the globe meet, Nobel prizewinners and young students, to have breakfast together. It is a very rich environment where ideas are developed. He was amazed, for example, when seeing our screens. We have screens everywhere that show in real time what happens in the various experiments in the accelerator and although this is normal for us, he realized from these screens that this life, so rich and so participatory, was a great stimulus and a great adhesive for the people involved in these projects.

I would like to conclude with a couple of considerations on fundamental research. I am pleased that the Rector has already talked about it very clearly. In 1939 an American educator, Abraham Flexner, wrote a wonderful article on the usefulness of science, of useless knowledge. In fact, I am often asked what the Higgs boson is used for. It is useful knowledge or useless knowledge? I am asked if the Higgs boson will change our lives. My answer is



sviluppare strumenti di altissima tecnologia e queste tecnologie sono state poi trasferite alla società in un grandissimo numero di campi: il Web, ma anche i pannelli solari e il campo medico, ad esempio lo strumento più utilizzato da 15 anni a questa parte per la diagnostica in campo medico e il depistaggio dei tumori si chiama PET, tomografia a emissione di positroni, e si basa su strumentazione sviluppata al CERN. Acceleratori di particelle basati su principi sviluppati al CERN in laboratori simili vengono utilizzati oggi per quella che si chiama adroterapia, quindi per bombardare il tumore con fasci di protoni e di ioni carbonio, sono fasci più concentrati e collimati che permettono di colpire il tessuto tumorale senza espandersi nel tessuto buono attorno a esso come invece nel caso dei raggi X. L'Italia è stata pioniera in questo campo con il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica fondata dal professor Amaldi a Pavia.

Più in generale vorrei sottolineare che le idee e la creatività sono la linfa del progresso. Il progresso di solito avanza e progredisce in modo lento e adiabatico su certe tecnologie, però a un certo punto per andare avanti bisogna avere una svolta tecnologica importante e una svolta nelle conoscenze. L'esempio che faccio sempre è quello della luce in questa stanza: non l'abbiamo ottenuta costruendo candele più grandi e colorate, ma ha richiesto una svolta, un cambiamento, una rivoluzione nelle conoscenze umane. La ricerca fondamentale è quella che più stimola le idee e la creatività. Il motivo è che non ha vincoli che vengono dal profitto, non ha il vincolo di dover produrre qualcosa in tempi brevi e quindi il ricercatore può pensare e ha tempo di avere idee anche rivoluzionarie, e la storia dimostra che grandi svolte nella conoscenza spesso vengono dalla ricerca fondamentale. Due successi in ricerca fondamentale, conoscenze del secolo scorso come la meccanica quantistica e la relatività, sono conoscenze umane che a priori sembrano essere completamente disaccoppiate dalla nostra vita di tutti i giorni perché hanno a che fare con il mondo dell'infinitamente piccolo - la meccanica quantistica - o dell'infinitamente grande - la relatività - e addirittura hanno concetti e leggi assurde per noi che viviamo nel nostro mondo delle nostre dimensioni. Eppure senza meccanica quantistica non ci sarebbero i transistor, tutta l'elettronica moderna, e senza relatività i nostri GPS non funzionerebbero. Forse ancora più importante è rivendicare l'importanza della ricerca, della conoscenza, come dell'arte, come espressioni più elevate



that the Higgs boson has actually already changed our lives. The reason for that is that in order to discover it we had to develop instruments of very high technology and these technologies were then transferred to society in a great number of fields: the Web, but also solar panels and the medical field - for example, the most used instrument for 15 years now for diagnostics in the medical field and screening of tumors is called PET, positron emission tomography, and it is based upon instrumentation developed at CERN. Particle accelerators based upon principles developed at CERN in similar laboratories are used today for what is known as hadron therapy, to bombard the tumor with proton and carbon ion beams. They are more concentrated and collimated beams which strike the tumor tissue without expanding into the good tissue around it, as in the case of x-rays. Italy was the pioneer in this field with the Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (National Center of Oncology Hadrontherapy) founded by Professor Amaldi in Pavia.

More generally, I would like to emphasize that ideas and creativity are the lifeblood of progress. Progress usually advances and progresses slowly and adiabatically on certain technologies; however, at some point, to move forward, you need an important technological breakthrough and a breakthrough in knowledge. The example I give is always that of the light in this room: we have not obtained it by building larger and more colorful candles, but it required a breakthrough, a change, a revolution in human knowledge. Fundamental research is what most stimulates ideas and creativity. That is because it has no constraints originating from profit, it has no restriction of having to produce something quickly and therefore the researcher can think and has time to grow ideas that may even be revolutionary, and history demonstrates that great breakthroughs in knowledge often come from fundamental research. Two successes in fundamental research, knowledge of the last century, such as quantum mechanics and relativity, are human knowledge that at first appears to be completely unattached to our everyday lives as they concern the world of the infinitely small - quantum mechanics - or the infinitely large - relativity - and even have concepts and laws that are absurd to us, living in our world of small dimensions. Yet without quantum mechanics, there would be no transistors, all modern electronics, and without relativity our GPS would not work. It is



dell'uomo in quanto essere pensante, espressioni che si giustificano da sé. È assurdo chiedersi se è importante finanziare un teatro, un concerto, un museo, lo è senz'altro, perché queste sono le espressioni più alte della mente umana. Già Dante diceva "Fatti non foste a viver come bruti", ma in tempi più moderni mi piace sempre citare questa frase di Bob Wilson che ha fondato il laboratorio Fermilab, che è il secondo laboratorio più grande e più importante al mondo nella fisica delle particelle e acceleratori dopo il CERN. Il signor Wilson negli anni '70 ricevette al laboratorio Fermilab, che si trova nell'Illinois vicino a Chicago, la visita del Congresso americano e qualcuno gli chiese "In che modo il suo laboratorio contribuisce alla difesa del paese?" e il signor Wilson rispose "In nulla, eccetto forse a rendere il mio paese più degno di essere difeso".  
Grazie.

perhaps even more important to vindicate the importance of research, of knowledge, as art, as the highest expressions of man as a thinking being, expressions that are self-justifying. It is absurd to question if it is important to finance a theatre, a concert, a museum: of course it is, because these are the highest expressions of the human mind. Dante said: "You were not made to live like brutes", but in more modern times I always like to cite this phrase by Bob Wilson who founded the Fermilab laboratory, the second largest and most important laboratory in the world in particle physics and accelerators after CERN. Mr. Wilson, in the 1970s, was visited at Fermilab, which is located in Illinois close to Chicago, by members of the US Congress and someone asked him: "In what way does your laboratory contribute to the defense of the country?" and Mr. Wilson answered: "It doesn't, except perhaps to make my country more worthy of being defended".  
Thank you.