

IL MISTERO DELLA MATERIA: IL BOSONE DI HIGGS

Ore: 11.15 Salone B7

Partecipano: **Sergio Bertolucci**, Director for Research and Computing, CERN; **Lucio Rossi**, High Luminosity Lhc Project Leader, CERN. Introduce **Marco Bersanelli**, Docente di Astrofisica all'Università degli Studi di Milano.

MARCO BERSANELLI:

Benvenuti a questo incontro che, per la verità, non era previsto. Quando già il programma del Meeting di quest'anno era ormai congelato, all'inizio di luglio, non era previsto in agenda. Poi è successo che la mattina del 4 di luglio, al CERN di Ginevra, è stato dato l'annuncio della scoperta del bosone di Higgs e, combinazione, proprio quel giorno, c'era una riunione della redazione del Meeting. Venuti a sapere di questo fatto, unanimemente si è deciso di inserire questo incontro, facendo un po' di modifiche non banali al programma. E questo credo testimoni l'interesse, l'importanza di ciò di cui parliamo oggi e anche la sensibilità che il Meeting ha sempre avuto per la novità, la scoperta, ciò che emerge in tutti i vari livelli della conoscenza e soprattutto della conoscenza scientifica, che di volta in volta ci mette davanti scenari nuovi, che non sono quelli che decidiamo noi ma sono quelli che la natura ci presenta. Grazie alla scienza, grazie al metodo scientifico e, come vedremo oggi, grazie al lavoro e alla passione di una grande quantità di persone che lavorano insieme ad un unico scopo, di volta in volta, qualche volta, si riesce ad arrivare a vedere qualcosa di nuovo. E noi siamo entusiasti di questo, perché tutto ciò che riguarda la verità e la bellezza ci entusiasma. La scoperta di cui oggi parliamo è una scoperta di importanza capitale per la fisica, per la scienza nel suo complesso. Direi che già quando 30 anni i ricercatori del CERN incominciavano a immaginare Lhc, la macchina di cui da oggi avremo sempre più notizia, si intravedeva la possibilità di cogliere l'esistenza di questa realtà così particolare che è la particella di Higgs. Ora, noi usiamo la parola *vedere* in un senso molto esteso. Vedremo con quale sofisticazione, oggi, quando in fisica si parla di vedere qualcosa, ci si è spinti nell'estendere questo senso naturale del cogliere la realtà. Quindi, non una visione diretta: è sempre indiretta, ma a un certo punto diventa una evidenza.

Di cosa si tratta, ce lo diranno ovviamente i nostri ospiti di oggi. Ma diciamo che si tratta di una scoperta che mette al centro una delle domande fondamentali, addirittura, della filosofia greca, dell'antica filosofia, che poi, nei termini della fisica moderna, si riformula con un linguaggio diverso: di che cosa è fatta la materia e, più precisamente, che cos'è quella proprietà fondamentale della materia che chiamiamo la massa, la massa di una particella, come la massa di un oggetto qualunque, come la massa del nostro corpo, qui e ora. Qual è la natura di questa proprietà che è quella che ci fa percepire il peso degli oggetti e la resistenza a un impulso, ad esempio? Bene, questo è proprio il tema di cui oggi parleremo. Introduco quindi i nostri ospiti. Vorrei dire che, se per noi è stato un imprevisto dell'ultimo momento introdurre questo incontro, ancora più lo è stato per i nostri ospiti, in particolare per Sergio Bertolucci, che mi appresto adesso a presentarvi. Grazie per essere qui.

SERGIO BERTOLUCCI:

Grazie a voi!

MARCO BERSANELLI:

Sergio è arrivato ieri sera alle dieci con un volo da Mosca: veramente, vi giuro, ha fatto e sta facendo un salto mortale triplo per essere qui con noi oggi. Sergio è il Direttore della Ricerca e del *Scientific Computing* del CERN, quindi, in un certo senso, è il punto di

riferimento di tutta questa cosa straordinaria e grande che è il CERN. Lui ha studiato fisica all'Università di Pisa, poi ha lavorato nel campo della fisica delle particelle, nel settore più sperimentale, in particolare al DESY di Amburgo, al Fermilab a Chicago, presso i laboratori di Frascati dell'INFN, ha ricoperto ruoli chiave nella progettazione, costruzione, sfruttamento di impianti ed esperimenti di accelerazione di particelle, in particolare CDF, KLOE, DAFNE Collider, e altri esperimenti. Tra i risultati più importanti che ha ottenuto in quel periodo è la scoperta del *top quark*, una particella fondamentale. È coautore di più di 370 pubblicazioni su riviste referenziate: per chi se ne intende, per chi capisce questo linguaggio, ha un h-index di 82, che è una roba top, come il quark! È stato direttore dei laboratori nazionali di Frascati e vicepresidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, l'INFN, e molta della sua attività poi si è svolta presso il CERN di Ginevra. Ha presieduto il comitato Lhc negli anni dal 2004 al 2007, fa parte del *Research Board* del CERN e del Comitato strategico scientifico. Come ho detto, attualmente è Direttore della Ricerca del *Scientific Computing* presso il CERN di Ginevra. Grazie, Sergio, veramente grazie. Poi abbiamo Lucio Rossi. Grazie, Lucio, per essere qui anche quest'anno.

LUCIO ROSSI:

Grazie!

MARCO BERSANELLI:

Lucio è un altro protagonista di questa scoperta che, come vedremo, ha una forte tinta italiana. Lucio ha studiato fisica all'Università di Milano. All'inizio degli anni '80 progetta e costruisce il ciclotrone superconduttore, uno dei primi acceleratori al mondo che utilizza la superconduttività. Nel 1989 inizia la sua collaborazione con il CERN per lo sviluppo e la costruzione dei primi prototipi di quelli che poi diventeranno i magneti di Lhc. Nel '97, entra a far parte della collaborazione Atlas e il suo lavoro è sempre più centrato al CERN di Ginevra, finché nel 2001 lascia l'Università di Milano, di cui pur rimane professore in congedo, e si sposta al CERN per dirigere il gruppo magneti e superconduttori per il progetto Lhc. Pensate che lui ha diretto la costruzione di 2mila magneti superconduttori, oggetti di cui vedrete poi le immagini, l'ossatura di questa macchina straordinaria, con un budget di 1200 milioni di euro, 1 miliardo e 200 milioni di euro, circa il 50% del budget globale di Lhc. Nel 2011 è responsabile del High Luminosity Lhc, di cui ci dirà qualcosa poi Lucio, la versione futura che nel 2020 dovrà, si pensa e si spera e si crede fortemente, aumentare di un fattore dieci l'efficacia di Lhc. Nel 2007, Lucio ha ricevuto un premio alla carriera per i suoi contributi alla superconduttività applicata e «per aver formato una generazione di futuri *leaders* nel settore», così recita la motivazione del premio. Bene, non mi resta che dare la parola a Lucio che comincerà il nostro incontro introducendoci questo oggetto straordinario che è Lhc e la sua esperienza in questo lavoro. Grazie.

LUCIO ROSSI:

Grazie. Ringrazio l'amico Bersanelli e gli organizzatori del Meeting per avermi chiamato ancora, non previsto. Ringrazio il mio capo professor Bertolucci e collega Sergio, che avrebbe potuto coprire tutto da solo. Ovviamente, quindi, ringrazio di questa possibilità che mi dà perché, vedete, io sono proprio uno strumentista: non sono quello che fa la scoperta del bosone ma il "cacciavite", quello che lavora e che però permette di scoprire, di vedere più in là che cos'è veramente la materia, questo argomento che ci affascina dai tempi dei greci. Più andiamo avanti e più capiamo che c'è un mistero sotto, perché più conosciamo e più ci sono cose da capire. Per fare questo, ci vuole uno strumento e allora non possiamo non cominciare dal personaggio cui abbiamo intitolato la mostra del Meeting di tre anni fa, Galileo, l'iniziatore della scienza moderna. Galileo era un grande fisico teorico, forse uno dei più grandi fisici teorici mai esistiti, ma era anche un grande

sperimentale. Ha letteralmente inventato uno strumento: ha preso quello che in Olanda era poco più di un giocattolo, delle lenti messe assieme, e l'ha modificato profondamente, aggiungendogli del suo e rendendolo uno strumento scientifico. Molti dicono: il telescopio è stato inventato in Olanda. Non è vero, perché lui lo ha veramente reso utilizzabile e soprattutto ha fatto il gesto fondamentale di utilizzarlo non per divertirsi ma per estendere il suo io, perché lo strumento è questo, l'estensione del mio io, per andare più in là, per rispondere alla chiamata della bellezza che ci avvolge, ci attira e genera lo stupore. Galileo fece questo 400 anni fa: facciamo un salto di 300 anni e andiamo a 101 anni fa. L'anno scorso, la mostra scientifica del Meeting ricordava lo scienziato inglese Rutherford che, cento anni fa, ha fatto un altro gesto fondamentale, ha cominciato a utilizzare la materia come strumento per andare a indagare. In poche parole, ha preso delle particelle atomiche e le ha usate per bombardare l'atomo, e ha capito per primo come è fatto l'atomo, ha capito l'esistenza del nucleo atomico. Lo abbiamo ricordato nella bellissima mostra l'anno scorso, lo dico per far capire che c'è un'unità in tutti questi nostri Meeting. Ma cento anni fa c'è stato anche un altro grande avvenimento, che abbiamo ricordato meno al Meeting, uno scienziato olandese, Onnes, che ha scoperto la superconduttività. Era un grande strumentista, uno scienziato che per circa dodici anni non ha fatto una pubblicazione. Invece di pubblicare, ha creato una scuola di persone, di tecnici, che è esistita per circa 80 anni, a Leiden, in Olanda, per fabbricare strumenti di precisione che gli permettessero di fare l'esperimento per cui ottenne un risultato sorprendente, non atteso: la scoperta del fenomeno della superconduttività. Sono un po' gli antenati dell'Lhc, i nonni, Rutherford e la superconduttività.

E adesso, facciamo un salto e andiamo a vedere perché abbiamo costruito l'Lhc. Al CERN, negli anni '70, fu fatta una esperienza fondamentale. Vedete questa bella traccia? Allora, le particelle le vedevamo così: lasciavano una traccia in una camera a bolle, e questa traccia corrisponde all'esistenza, all'indizio. Noi non vediamo le particelle, è un insieme di indizi che ci fa ragionevolmente convergere verso una certezza, una conoscenza indiretta che però ci fa essere certi di qualcosa che non vediamo in modo diretto. Grazie a queste tracce, ci siamo convinti che eravamo di fronte a un indizio dell'esistenza dei bosoni, così introduciamo la parola. Bosoni sono particelle che amano i comportamenti collettivi, anziché individuali. Questo era un indizio, ci siamo chiesti: "Come facciamo a vederli?". Al CERN, a quei tempi, avevamo già una grande acceleratore, lungo sette chilometri, sotto terra, esiste tutt'ora e si chiama SPS, Super Proton Sincrotrone. Questo strumento era inadeguato. E lì intervenne il genio, perché il genio umano è quello che riesce a vedere quello che tutti gli altri guardano ma non vedono. Il genio del professor Rubbia, con il suo ingegnere, acceleratorista, Van der Meer, riuscirono a trovare il grimaldello, lo strumento, e a trasformare il CERN in una fabbrica di antiprotoni, cioè di antimateria. Al CERN, l'antimateria la creiamo davvero, ormai la si usa anche negli ospedali per scopi benefici: grazie a questo, riuscirono ad utilizzare il vecchio acceleratore in una maniera nuova e a vedere questi bosoni WEZ, fondamentali. Non per niente, fu uno dei primi premi Nobel istantanei, per così dire: l'esperimento è del 1983, il premio Nobel del 1984, per dire quale importanza abbia la scoperta di queste particelle.

Ma, come sempre, un problema ne apre un altro, la risoluzione di un problema, non solo non chiude la porta ma apre una voragine: e ha aperto altre questioni. Si è capito, a causa dell'esistenza di quei bosoni, che doveva esistere un'altra particella, in un certo senso ancora più importante, che spiegava una simmetria. Noi siamo profondamente convinti delle leggi di simmetria in natura, anzi, siamo convinti che la natura è basata su leggi di simmetria, ma come vederlo? Non avevamo lo strumento, e qui veramente bisognava andare sul nuovo. Ci fu una grande battaglia: gli Stati Uniti fecero la proposta di un acceleratore di 80 chilometri, vedete quel cerchio rosso? E' la città di Dallas, che è enorme: questo cerchio racchiude quasi la città di Dallas, 86 chilometri. Sarebbe stata una

spesa pazzesca, circa 15 miliardi di dollari dell'epoca. La risposta del CERN e di Rubbia, che nel frattempo era diventato Direttore Generale del CERN, è stata: no. Noi avevamo già un acceleratore, nel frattempo il CERN aveva acquisito un acceleratore per elettroni e antielettroni, il LEP, lungo 27 chilometri. Rubbia e i suoi collaboratori ebbero l'idea di trasformarlo in un acceleratore per protoni. Era di 27 chilometri, quindi molto più piccolo di questo da 80 chilometri, però poteva rivaleggiare col suo competitore americano grazie al fatto che utilizzava tecnologie più spinte. Quindi, Rubbia, il CERN, hanno puntato sull'avanzamento tecnologico piuttosto che, semplicemente, sulla forza bruta. Vedete il piccolo - relativamente, sono sempre 30 chilometri, per darvi un'idea, 2 volte e mezzo il tunnel del Monte Bianco, ma piccolo rispetto all'acceleratore americano - costruito a Ginevra? L'idea era: nuove tecnologie e uso di una luminosità più elevata, cioè di una luce diversa, per vedere meglio. Perché facciamo tutto questo, gli acceleratori? Perché gli acceleratori si posizionano a un estremo della scala della conoscenza. Questo qui è l'universo, la scala dell'universo, in centimetri, purtroppo, non in metri: e qui, agli estremi, vediamo le cose più grandi. La cosa più grande che possiamo vedere è l'universo nella sua interezza, e per questo ci vogliono telescopi spaziali, l'ultimo dei quali è quello di cui uno dei responsabili è il nostro moderatore, Marco Bersanelli, lo strumento PLANCK. Invece, se vogliamo vedere sempre più nel piccolo la materia - fatta di molecole e atomi, l'atomo fatto di un nucleo con gli elettroni che girano attorno, il nucleo fatto di protoni e neutroni, un caleidoscopio che non finisce mai, fatto di quark che si posizionano a questo punto nella scala - c'è il nostro acceleratore, un oggetto che vede cose piccolissime. Questa relazione non voglio spiegarla, ma pensate, vede un milionesimo di milionesimo di metro. Oggi vi sono familiari le nanotecnologie, ma perché possiamo parlare di nanotecnologie? Perché abbiamo da circa 40 anni nanoscopi, per cui riusciamo a vedere le molecole, o addirittura gli atomi, adesso. perché hanno le dimensioni del nanometro, nanometro come si dice in italiano.

Benissimo, il nostro acceleratore è un nano-nanoscopio, vede un milionesimo del nanoscopio, riusciamo addirittura a vedere cosa c'è dentro i quark. Poi, quando si dice che Lhc ricrea il big bang, ci vuole un po' di modestia, siamo ancora molto lontani dal big bang, però è come una strada, un cammino che non si esaurisce. E andando nell'infinitamente piccolo, un po' come fanno gli astrofisici, come spiegherà il professor Bertolucci, andiamo anche indietro nel tempo: questa relazione, per chi la sa leggere, ci dice quanto riusciamo andare indietro nel tempo, a un microsecondo dopo il big bang. Pensate che l'universo è vecchio di 13 e passa miliardi di anni, e riusciamo andare non a un secondo, non a un milionesimo di secondo, che è quello che vediamo nella Formula 1, ma a microsecondi o picosecondi prima del big bang. Però, rimaniamo modesti, noi studiamo le particelle elementari. Ed è molto complicato, difficilissimo spiegare come da questo si arrivi alla complessità del mondo organizzato, delle molecole, ecc. Per non parlare, poi, della vita, e della vita intelligente. Penso sia una disciplina molto più difficile della nostra. Cosa facciamo noi? Quali sono i nostri strumenti? Noi prendiamo le particelle, le concentriamo di energia, facciamo l'inverso di quello che fa una centrale che trasforma, in qualche maniera, la massa in energia. Facendo questo, le facciamo scontrare e scontrandosi, voi capite, è un po' come fare entrare una 500 nel nostro acceleratore: l'acceleriamo e tutti sappiamo che c'è una velocità limite, la velocità della luce. Diciamo che arriviamo alla velocità della luce: in realtà non ci arriviamo ma siamo molto, molto vicini. E come facciamo ad accelerare se siamo arrivati lì, così vicini? Aumenta la massa, questo ce l'ha insegnato Einstein, se diamo energia aumenta la massa. Aumentando la massa, la mia 500 diventa un camion a rimorchio, un TIR pesantissimo, quindi mi servono dei magneti potentissimi per farlo curvare. Tutti sanno che ci vuole molta più forza centripeta per curvare un camion a rimorchio lanciato che una 500 lanciata. E però, scontrandosi, saltano fuori pezzi che erano molto più pesanti, o massivi, della particella iniziale. Questo

è un po' il trucco degli acceleratori, diciamo il loro segreto: generare una specie di luce così fine che riesce a farmi vedere l'infinitamente piccolo. Ma voi sapete bene, ahimè, che la luce è essenziale per vedere, se qui spegniamo non vediamo niente. E non basta la luce, ci vuole il soggetto, l'occhio che vede. Quindi, l'altra componente fondamentale sono i detector, o rivelatori, in italiano, che rivelano tutte le particelle, tutti i prodotti. Per vedere ci vuole la luce, ci vuole l'occhio che vede e ci vuole poi il cervello che analizza, ma di questo parlerà meglio il professor Bertolucci.

Dal mio punto di vista, tutti questi oggetti hanno bisogno veramente di tecnologie di punta. Vi faccio vedere adesso come funzionano gli acceleratori. Questa è la catena di acceleratori del CERN, questo oggetto, che si chiama PS, è vecchio di quasi 60 anni. Noi riutilizziamo quello che ci hanno passato i nostri padri finché possiamo: è stata la carta vincente del CERN. Per andare più in là, ci appoggiamo su quello che c'è stato prima. Quindi, le particelle vengono generate in questa macchina che si chiama LINAC, che è lunga poco più di questa scrivania, circa 25 metri, e poi passa in una serie di anelli sempre più grossi e potenti. Questo è l'SPS per cui Rubbia ha preso, appunto, il premio Nobel. Poi vengono messi in Lhc controcircolanti e puf, qua c'è la collisione. Questo è lo scienziato scozzese Peter Higgs che, circa quarant'anni fa, ha azzardato l'ipotesi. E' stato un progetto più che ventennale, vent'anni di costruzione, ma dalla sua concezione, dalle prime idee, sono passati quasi trent'anni. Nel 1989 abbiamo iniziato a collaborare con il CERN facendo i primi prototipi. Questo è stato il prototipo fondamentale, vedete che c'è la sigla INFM? E' stato fatto dall'INFM di Milano in cui ero, insieme col CERN, ed è stato il primo magnete prototipo dell'Lhc. La prima approvazione è del '94. Ma da qui ad avere un prototipo, nel 2008, ci sono voluti altri 14 anni. La strada è lunga, è veramente come costruire una cattedrale. Abbiamo dovuto sviluppare nuove tecnologie: la prima, è la superconduttività che permette di fare magneti che possono piegare le particelle che sono molto massive, i camion a rimorchio di cui parlavo prima. Abbiamo dovuto sviluppare dei materiali. Pensate, questo cavo che noi chiamiamo cavo superconduttore è fatto di tanti fili da un millimetro, come quelli che avete a casa vostra: se spellate il filo di casa vostra, vedete che sono fili la cui sezione è nell'ordine del millimetro. Solo che, come tutti sanno, le prese di casa nostra sono 10 ampere, al massimo 16 ampere, altrimenti si scaldano. Noi, in fili del genere facciamo passare 1000 ampere e poi, mettendo assieme questi cavi, portano 15000, 20000 ampere. Eppure, facendo passare questa corrente enorme, non si scaldano, quindi non dissipiamo, non consumiamo: questo è il vantaggio della superconduttività. Vedete, in questi fili ci sono filamenti sottilissimi: in un filo da un millimetro ci sono 6000 filamenti che non si devono toccare. Pensate che se mettessimo in fila questi filamenti che abbiamo fatto per Lhc, otterremmo circa un miliardo di chilometri, cioè tra 6 e 8 volte la distanza Terra-Sole, andata e ritorno. Questa è stata la prima, grande tecnologia.

L'altra grande tecnologia è la superfluidità, due fenomeni molto simili. Vi faccio vedere, abbiamo dovuto sviluppare il superfreddo. Voi pensate che, per lavorare, questi magneti hanno bisogno di stare a un freddo più freddo del freddo cosmico, quello che studia Bersanelli: siamo ad una temperatura di 1,9 gradi sopra lo zero assoluto. In termini volgari, vorrebbero dire -271 gradi Celsius. Siamo un po' più freddi dell'universo, realizziamo su 40mila tonnellate, non sulla massa dell'universo, un freddo che l'universo in media realizzerà, espandendosi, fra circa 10 miliardi di anni. Questa è una pompa speciale sviluppata per poter fare l'elio superfluido, molto precisa. E questo è l'oggetto per cui sono andato al CERN: voi vedete un disegno, ma io mi sono innamorato della bellezza di questo oggetto. Certo, uno va al CERN perché è bello, perché pagano bene, ma alla fine c'è sempre un aspetto fondamentale che ci attira. Io personalmente sono attirato dalla tecnologia, quando è bella, ci vedo il bello. e questo qui è quello che chiamiamo *dipolo superconduttore* dell'Lhc, con la sua crosta di bobine superconduttive: vedete fasci di

particelle che qui abbiamo disegnato con righe gialle? Sono i fasci di particelle che entrano, una in un senso e l'altra nell'altro, e contro circolano alla velocità della luce in Lhc. Solo in alcuni punti, in quattro punti, con dei magneti speciali, li facciamo incrociare e li facciamo collidere i fasci. Questi sono i nostri magneti, nella loro bellezza. È molto monotono, in un certo senso, Lhc: 27 chilometri, tranne alcune interruzioni, di magneti ripetitivi, sembrano gli archi di una cattedrale romanica. Questa è la loro bellezza, tutta la tecnologia racchiusa in questi tubi blu che sono diventati un po' il simbolo dell'Lhc. Ma, come dicevo, non basta creare la luce, ci vogliono gli occhi per vedere, e questo è l'occhio, il più grande occhio. Questa è una delle immagini più belle dell'Lhc. Ho passato gli ultimi anni a Milano, lavoravo a queste braccia, che sono le braccia magnetiche del rivelatore ATLAS. Vedete che, nella sua immensità, è veramente una cattedrale. Questo qui è l'altro rivelatore, per par condicio vi faccio vedere anche questo, CMS: sono i due grandi rivelatori che hanno visto il bosone di Higgs. Vedete questi grandi magneti, ma c'è ben di più: questi occhi sono pieni di elettronica, sono in grado di captare le immagini in questo guazzabuglio, di riuscire a riconoscere una traccia come questa. Vi sto mostrando ancora dei disegni, lascio al professor Bertolucci di farvi vedere la realtà.

Vedete, noi aspettiamo un Higgs ogni mille miliardi di eventi, e per dare la possibilità a Bertolucci e ai suoi colleghi di vedere, noi facciamo collidere i fasci 20 milioni di volte al secondo. Questi rivelatori sono come macchine fotografiche potentissime che fanno 20 milioni di fotografie al secondo. E fra due anni passeremo a 40 milioni: produciamo tra 1 e 2 miliardi di collisione al secondo: capite che lavoro devono fare questi occhi? E' veramente incredibile. Facendo Lhc, ci sono anche dei momenti di successo. Google ci ha regalato questo logo - 10 settembre 2008 - quando abbiamo iniziato la macchina. E' stato quasi profetico perché sembrava un'esplosione: e l'esplosione c'è stata, solo nove giorni dopo. Un problema, un guasto nella connessione tra cavi superconduttori e magneti, pesanti 30 tonnellate l'uno: 700 metri di magneti sono stati spinti l'uno contro l'altro e rovinati, quasi fossero fucilli, dalla pressione dell'elio che nel frattempo si era surriscaldato. È stata dura, ci sono voluti 14 mesi ma ci siamo ripresi, e abbiamo lavorato forte per uno scopo. Capite, avevamo finito il progetto, i team erano già stati sciolti, i soldi erano finiti: è stato difficile ricostituire il team, ma soprattutto ricostituire la voglia.

E allora, si fa leva su una cosa: il desiderio, il desiderio di far bene, di lavorare per uno scopo comune, per qualcosa di più grande di quello che faccio da solo. Fa superare anche il fatto di chiedersi di chi sia la colpa, fa superare anche queste diatribe inevitabili, perché siamo tutti uomini. E infatti, il 23 novembre 2009 è una data che non scorderò mai, e penso neanche il professor Bertolucci, che ormai era ben saldo in CERN come Direttore della Ricerca. Questa riga verde è il fascio del Lhc, cioè delle particelle, la nuvoletta di particelle che percorre i 27 km. Questa riga verde in realtà copre 27 km, ma in altezza è un'oscillazione di meno di 2 millimetri: è stato il primo fascio che abbiamo sparato. Era così perfetto che, sparando, il fascio ha oscillato solo di 2 o 3 millimetri, facendo il primo giro. È stata una soddisfazione enorme, la prova che la macchina poteva funzionare, poteva dare i risultati sperati. Adesso, come ci dirà il professor Bertolucci, la X c'è ma la nostra corsa di strumentisti, di scientifici, non ha fine. Avevamo trovato la X ma troveremo molto altro e in ogni caso, cosa fa uno quando entra in una stanza e vede qualche cosa? Vuole vedere meglio. E cosa fa per vedere meglio? Dà più luce. Ed è quello che vogliamo fare, com'è stato accennato nella presentazione: un Lhc *high luminosity*, ad alta luminosità, per aumentare la quantità di luce, per vedere meglio. In realtà, per aumentare il numero di collisioni. Per darvi l'idea, l'anno scorso abbiamo generato 500mila miliardi di eventi. Quest'anno ne abbiamo generati 600mila, a energia leggermente superiore, questa è l'unità di misura dell'energia, non sto qui ad indicarla ma è un'energia molto elevata come densità, anche se piccola come quantità. Grazie a questo, si è potuto vedere l'Higgs. Noi pensiamo, entro il 2020, di generare 30 milioni di miliardi di eventi, per vedere

se insieme all'Higgs c'è qualcosa, quali sono le caratteristiche dell'Higgs, misurarlo, pesarlo. Col progetto di cui sono responsabile, ci rendiamo conto che questo non basta, l'urgenza di andare più in là è veramente insopprimibile. È qualcosa che ti spinge. Difatti, pensiamo, con il progetto *high luminosity*, di arrivare a 300 milioni di miliardi di eventi. Questo è il percorso che abbiamo fatto fino adesso, fino al 2010: siamo partiti nel '75 con l'SPS e con il Tevatron americano, la prima macchina super-conduttrice: con l'alta luminosità, vogliamo arrivare in questo punto. E già stiamo avendo idee per fare un altro salto quantico e arrivare a quello che chiamiamo un Lhc ancora più potente, per accendere una luce ancora più fine, in un percorso che ad altro non risponde se non alla nostra esigenza di andare più avanti. Facendo questo, la cosa più incredibile è che noi siamo tirati da qualcosa, siamo in un cammino che ha degli effetti presenti. Ne cito solo qualcuno: il web. Forse non tutti sanno che fu inventato al CERN nel 1989, questo è il suo inventore, Tim Berners-Lee, che tornò nel 2009 per celebrare con noi il ventennale del CERN. Il successore del web, di cui certamente parlerà il professor Bertolucci, è il Grid, il futuro web, le applicazioni mediche: chi non ha qualcuno in famiglia che ha fatto un esame PET? La P sta per positrone, l'antimateria, che non solo esiste ma che noi abbiamo addomesticato e che usiamo per scopi benefici. E questa è la prima PET, molto grossolana, su un cervello di ratto, la prima immagine fatta di PET, al CERN, nel '75. Poi il CERN ha dato tutto agli ospedali e quelli sono andati avanti: adesso si ottengono immagini come queste, lo scheletro di un ratto, di cui voi vedete il dettaglio a livello del decimo di millimetro. Se andiamo a vedere l'immagine qui sotto, che era molto più scura, si è andati avanti: ma queste sono le ricadute dirette di questa ricerca. Pensate a Pavia, non troppo distante da qui: c'è il Centro nazionale di adroterapia oncologica, un complesso, certamente più piccolo, che ha tutte le caratteristiche del Lhc. Accelera adroni, accelera delle particelle tipo quelle del Lhc, per curare direttamente i tumori sul paziente. E' una realtà già in funzione, stanno facendo i primi protocolli medici e clinici. È una realtà, l'Italia è veramente avanti in questo settore. Pochi sanno che la risonanza magnetica è composta da un magnete superconduttore, e che lo sviluppo di questi magneti fu possibile soprattutto grazie al Lhc, perché noi sviluppiamo l'elemento base, la superconduttività. Poi, è un *business* che va per suo conto, ma questo paziente che vedete non è al corrente che, a 2 centimetri da lui, c'è il freddo cosmico, 4 gradi sopra lo zero assoluto. Infine, l'ultima applicazione, giusto per darvi quello che in inglese si chiama *input*, un'idea di cosa si può fare. Questo è un progetto propugnato dal professor Rubbia, sempre lui: ne fa tanti ma quando uno è bravo, le idee le ha in tanti settori, per fare energia, più che pulita, sostenibile, rinnovabile. Se uno vuole fare energia solare, dove la trova? Innanzitutto nel Sahara, non c'è niente da fare, lì il sole c'è di sicuro, e il professor Rubbia ha trovato un modo per lavorare anche di notte. L'idea è di fare una centrale da 15 gigawatt, cioè l'equivalente di 15 centrali nucleari. Il problema è che, se la faccio qui, poi la devo portare a Milano, a Bonn, ad Amburgo, a Parigi, ecc. Il trasporto dell'energia diventa molto complicato, perché una tale potenza elettrica richiederebbe delle linee e penso che in Italia i sindaci si farebbero impiccare o crocefiggere piuttosto che essere attraversati da una linea aerea che è circa 60 metri di altezza e 100 metri di larghezza. L'idea è proprio quella di utilizzare i superconduttori che stiamo sviluppando per l'*high luminosity* per Lhc, per fare dei cavi superconduttori che possano trasportare queste potenze elettriche. Vedete il bene che salta fuori da questa ricerca che va sempre avanti per questo qualcosa che ci attira? Da tecnologo, mi permetto di ricordare che se non valorizziamo questo istinto, questo aspetto primordiale della ricerca, non avremo neanche le tecnologie. Chi cerca le tecnologie per le tecnologie alla fine perde anche quelle con la conoscenza. Grazie dell'attenzione.

SERGIO BERTOLUCCI:

Bene, avete visto tutto da Lucio, più o meno: adesso io vi racconto che poi, con quegli strumenti lì, ci divertiamo. In realtà, questa è una comunità che lavora molto assieme. Lucio scherzava dicendo che lui è lì a cacciavitare, e poi ci sono i *countryclub men* che vengono a una certa ora e pensano. No, lavoriamo tutti insieme, abbiamo gli stessi calli nelle mani, più o meno, siamo solo specializzati in maniera diversa. Quando la mia presentazione arriva, io vorrei parlarvi anche di questo straordinario posto che è il CERN, per un motivo semplice, perché il CERN è anche il nostro laboratorio, non andiamo all'estero quando andiamo a lavorare al CERN, andiamo a lavorare nel nostro laboratorio che è un laboratorio europeo. La missione del CERN è in quel triangolo lassù, che è il triangolo della conoscenza, alla base, c'è la nostra missione principale: vogliamo spingere più avanti la conoscenza del mondo fisico, vogliamo capire perché l'universo funziona così, come si è evoluto, qual è stata la sua crescita e anche quale sarà il suo possibile futuro, dal punto di vista della fisica. Sono grandi domande che sembrano essere immateriali e che in realtà, da quando l'uomo ha inventato il linguaggio, ha incominciato a parlare coi suoi simili, a riflettere su quello che vedeva e a cercare di interpretare il mondo, hanno sempre provocato dei cambiamenti e quello che noi chiamiamo il progresso. Per fare questo, per rispondere a queste domande abbiamo bisogno di sviluppare molta tecnologia per due motivi: perché la tecnologia che ci serve non c'è o perché qualche volta c'è ma è troppo costosa, e questo dà un beneficio, un ritorno immediato alla società, perché le cose che sviluppiamo vanno subito in altre cose che vengono usate in altri ambiti: l'esempio più clamoroso delle cose che abbiamo sviluppato è il *web*. Qua dentro è pieno di gente giovane, io penso che la maggior parte delle persone pensino che l'anno dopo che Colombo ha scoperto l'America c'era anche il *web*, ma non è vero. Nel 1988, per me che sono anziano, il *web* non c'era ancora, c'erano le reti, che è un concetto molto diverso. C'era Internet, spostava informazioni da un punto all'altro in una maniera molto rigida. Nel 1989, questo signore che adesso è baronetto della Regina, è andato dal suo capo e gli ha detto: "Avrei un'idea su come migliorare la comunicazione dentro il nostro esperimento". Era un esperimento allora considerato grande, oggi lo considereremmo piccolo-medio. Per fortuna sua e nostra, il suo capo ha detto: "Mi sembra un po' confusa ma promettente, vai avanti". E lui ha scritto in questo linguaggio universale che ha cambiato l'idea con cui si usa una rete, perché ogni nodo della rete diventa fruitore di informazione e generatore di informazione in una maniera globale e generale. Quando scrivete oggi `http://`, usate questo *markup language* che è stato inventato allora, con il primo browser che si chiamava *mosaic*. Questa cosa ha cambiato il mondo, pensate che oggi si calcola che circa un terzo dell'economia mondiale giri intorno al *web*. Ora, il CERN avrebbe potuto brevettarla ma non è lo scopo del CERN: la ricerca fondamentale si fa per tutti. Per cui, il CERN ha deciso di non brevettare il *web* ma ha fatto una cosa migliore, ne ha mantenuto la proprietà intellettuale. In questa maniera, nessuno vi potrà mai far pagare per scrivere `http://`, hanno trovato altri sistemi per farvi pagare, più creativi. L'altro punto di quel triangolo che è fondamentale, è che la ricerca ha bisogno di idee, ha bisogno di finanziamenti ma ha bisogno soprattutto di occhi larghi: le persone che fanno veramente il cambiamento sono i cervelli della gente giovane. Perché quelli più anziani come me diventano magari un pochino più colti - nel mio caso non è neanche vero -, ma in generale ci abituiamo ad accettare per vere le cose con cui siamo cresciuti, su cui abbiamo lavorato. C'è bisogno ogni tanto che entri nella stanza una persona che guardi la cosa che abbiamo guardato tutti per vent'anni e dica: "Sentite, ragazzi, ma non vi rendete conto che questa è una cosa completamente diversa?". Per cui, è fondamentale in questo campo che ci sia un costante passaggio di generazioni, che ci sia training: CERN è un posto primario per formare i giovani fisici, ingegneri, informatici. Ne formiamo a centinaia ogni anno. Infine, siamo un campo privilegiato perché, siccome veniamo prima degli interessi

delle nazioni, dal punto di vista economico, la scienza ne ha un vantaggio, perché mette insieme delle persone al di là delle religioni e delle ideologie. Noi siamo uno dei pochi linguaggi di pace che l'umanità è riuscita ad inventare. In questo momento, al CERN ci sono più di cento nazionalità che lavorano insieme: e vi posso assicurare che non troverete molti esempi in cui vedrete un iraniano che lavora con un americano, un palestinese con un israeliano, un pakistano con un indiano e un italiano con altri italiani. Da questo punto di vista, siamo una comunità un pochino particolare che ha come missione andare avanti e progredire, sperando che questo progresso arrivi ad un punto tale da generare una discontinuità. Le vere scoperte non si fanno quando si progredisce su un cammino: è importante per il cammino della scienza, ma le vere rivoluzioni avvengono quando c'è un punto di discontinuità. Io dico sempre che è un po' la differenza tra l'importanza della ricerca rispetto alla tecnologia. Perché la tecnologia satura. Se voi sapete fare candele e una società dice: "Benissimo, la cosa più importante è fare le candele", farete candele bellissime, sempre meglio, ma non riuscirete mai a fare una lampadina elettrica. Perché tra la candela e la lampadina elettrica ci sono le equazioni di Maxwell, e se voi non capite le equazioni di Maxwell non farete mai una lampadina. E nello stesso tempo - visto che tutti l'abbiamo in tasca -, pensate al vostro telefonino: fatto con le valvole termoioniche, sarebbe grande, molto più grande di questa hall, consumerebbe molti megawatt, sarebbe poco pratico portarselo in tasca. Però, tra la valvola termoionica e il transistor e poi il circuito integrato - in qualsiasi vostro telefonino ci sono milioni di transistor - c'è di mezzo la meccanica quantistica. E quando cent'anni fa la gente cominciava a parlare di meccanica quantistica, si diceva: "Vabbè, ma quella è una cosa talmente astratta, chi vuoi che la usi?". L'uso ha fatto vedere l'antimateria. L'antimateria non serve soltanto per il film di Dan Brown, *Angeli e demoni*, l'antimateria ci salva la pelle oggi. Ma nel 1929, quando Dirac ha scritto questa equazione, gli venivano due soluzioni, aveva due possibilità: o diceva "Sono un cretino, ho sbagliato" oppure si trattava di un elettrone che va indietro nel tempo, o dell'anti-particella di un elettrone, che è la stessa cosa. Mica sapeva che oggi l'avremmo usata per diagnosticare i tumori. Bene, due parole sul CERN. Il CERN è una di queste idee per cui ogni tanto si è orgogliosi di essere europei. Nel dopoguerra, in un'Europa devastata che aveva messo tutto il suo impegno per distruggersi, un gruppo di scienziati, tra cui il nostro Edoardo Amaldi, ha pensato che la maniera migliore per riportare insieme l'Europa fosse attraverso la scienza. Nel dopoguerra, potete immaginare come non fosse facile mettere intorno allo stesso tavolo un tedesco, un inglese, un italiano, un francese che, sino a pochi anni prima, si erano scannati allegramente, avevano cercato di annientarsi. Ebbene, nel 1954 è stato creato il CERN, sotto gli auspici dell'Unesco: adesso siamo 20 e più Stati membri e un paio di anni fa siamo riusciti anche a fare una cosa importante. Il Council, l'organo che ci governa da un punto di vista di indirizzi, ha deciso che per essere membro del CERN non è necessario appartenere all'Europa. Per cui, adesso abbiamo un sacco di altre nazioni, è già entrato Israele, sta entrando il Brasile, sta entrando la Russia, sta entrando l'India, e siamo un'opera, un'istituzione abbastanza globale. La cosa bella di questa istituzione è che per fare ricerca al CERN non è necessario provenire da uno Stato membro né essere uno staff del CERN: abbiamo circa 3000 persone pagate sul budget del CERN ma ospitiamo una comunità di più di 11.000 fisici, da tutte le parti del mondo. Costiamo alla comunità 830 milioni di euro all'anno: come ho detto in un'altra occasione in cui ho convinto la gente ad investire 830 milioni di euro all'anno, in futuro, su un livello globale, sarà un buon investimento. In questa presentazione vedete tutte le nazioni, purtroppo ci sono ancora posti bianchi perché hanno problemi che sono molto più urgenti che scoprire il bosone di Higgs: speriamo piano piano di riuscire a popolare anche queste aree bianche, perché vorrebbe dire che veramente le cose vanno avanti. Questo è ciò che facciamo. Sappiamo che l'universo è nato circa 14 miliardi di anni fa, da una grande

esplosione. Il concetto di esplosione è bello da dire ma dà un'idea sbagliata: quando si parla di esplosione, si parla di un qualcosa che si espande in uno spazio e in un tempo che c'è già. In realtà il big bang, quando è avvenuto, ha creato lo spazio in cui si espandeva e il tempo che gli ci voleva per espandersi. Per cui, se volete un'analogia, è molto meglio pensare di essere sulla superficie di un pallone che si sta gonfiando: se guardate in ogni punto di questo pallone, se è ragionevolmente tondo, vedrete tutte le cose intorno a voi che si allontanano, e questo vi dà un poco l'impressione di uno spazio che si crea, di un tempo che si è creato quando l'espansione ha cominciato ad avvenire. Quando noi vogliamo studiare questo universo, che adesso è arrivato alle dimensioni di circa 10^{28} cm - un numero facile da ricordare, perché è soltanto il quadrato del debito pubblico americano - ci sono due possibilità: se uno vuole capire com'è fatto l'universo adesso, deve cercare di capire com'era quand'era giovane, perché quand'era giovane ci mostrava di più le sue simmetrie, aveva avuto ancora poco tempo per differenziarsi. Per cui, noi possiamo capire le sue leggi più intrinseche in due maniere: una maniera è quella di guardare oggetti molto distanti perché, siccome l'informazione si trasferisce con una velocità limite che è la velocità della luce, se voi guardate una galassia che è un miliardo di anni luce, state guardando com'era l'universo un miliardo di anni fa. E questo abbiamo imparato a farlo in maniera sempre più raffinata: però questo approccio ha un limite, perché se uno guarda distante, andando sempre più indietro nel tempo, arriva a un punto in cui trova un muro, questo muro è circa a 350mila anni dopo il big bang. E trova questo muro perché l'universo, a quel punto, era ancora così caldo che tutta l'informazione che veniva emessa, la luce, veniva riassorbita, per cui c'è uno stato di confusione, molto promettente. Studiando com'è quella faccia, si riesce a capire moltissimo di quello che è successo prima: è quello che stanno facendo il nostro collega Marco e Reno Mandolesi che vedo là, che sono dietro a questa grande impresa che si chiama Planck, un satellite che sta studiando proprio questo. Stanno studiando quel momento perché, dalle fluttuazioni, da come uno guarda l'eco di questa esplosione nella interfaccia che vedete in verde, si riesce a capire moltissimo di come era fatto l'universo prima.

C'è un'altra maniera, se uno vuole andare oltre. Questo è il famoso regolo che vi aveva fatto vedere prima Lucio, un regolo logaritmico, ogni tacca è un fattore 10, per cui 10^{28} è la dimensione dell'universo, e 10^{-32} è la dimensione più piccola che riusciamo ad immaginarci dal punto di vista della fisica, su quella che chiamiamo la scala di Planck, la dimensione della fluttuazione di questo vuoto: in verità, non c'è nulla di più pieno di questo vuoto ma questo meriterebbe un seminario di un'ora, magari vengo il prossimo anno e ve lo faccio. Questo regolo al centro, l'abbiamo fatto in maniera un po' furbina perché la scala del metro, quella nostra, è quella dell'uomo: io di solito ci metto dentro qualcuno, in questo caso ci ho messo dentro Marco. Bene. Se vogliamo andare indietro, abbiamo questa possibilità di guardare, guardando distante, e oggi lo strumento più sofisticato di sicuro è Planck. Oppure andiamo oltre il muro, creandoci in uno spazio piccolissimo, per un tempo infinitesimo, le condizioni che erano molto vicine al big bang. Con più energia riusciamo a pompare in questo micro-volume, che dura un miliardesimo di un miliardesimo di miliardesimo di secondo, più vicino andiamo alle condizioni che c'erano all'inizio dell'universo. Oggi, con Lhc, siamo arrivati a guardare come era l'universo un milionesimo di milionesimo di secondo dopo il big bang. Per cui, parecchio in là. Il problema - non ci crederete se vi dico una cosa del genere - è che la maggior parte delle cose interessanti sono successe prima. Questo lo facciamo anche perché se no siamo disoccupati dopo ma comunque è fondamentale che oggi si capisca che la prossima evoluzione della fisica della teoria avrà bisogno di comprendere allo stesso tempo l'estremamente grande e l'estremamente piccolo. Sappiamo oggi che non è possibile trovare una risposta soddisfacente, guardando soltanto una delle scale. Bene. Ora in realtà, se fossimo persone che si accontentano facilmente, dovremmo essere abbastanza contenti. Perché

dopo migliaia di anni siamo riusciti a creare un modello, che noi chiamiamo modello standard, perché ce la tiriamo un po', ma che in realtà è una teoria quantistica relativistica corretta per tutte le divergenze con i fiocchi e i controfiocchi, in cui riusciamo a generare il mondo con un numero minimo di mattoncini del Lego. Abbiamo bisogno di sei quark, particelle che formano i protoni e i neutroni di cui siamo fatti, e di un certo numero di leptoni, l'elettrone, un fratello più pesante che si chiama μ , abbondante nella radiazione cosmica che ci calca sulla testa in ogni istante - anche in questo istante ognuno di noi se ne becca qualcuna per secondo che lo attraversa -, e addirittura un fratello molto più pesante che si chiama leptone τ . E poi abbiamo pochissime particelle, che si chiamano bosoni, che sono quelli che scambiano le forze con cui interagiscono queste particelle e questo forma il mondo.

Il problema è che abbiamo un sacco di problemi aperti. Ad esempio, queste particelle, questi quark U.C.T (up, charm, top, e avremmo potuto chiamarli Ugo, Carlo e Terenzio) sono identici dal punto di vista delle loro caratteristiche, salvo che per una cosa: hanno masse completamente differenti. Allora, immaginatevi tre cose veramente identiche, però quello è più denso, pesa 20mila volte quell'altro, e non riuscite a capire il perché. L'unica maniera per cui riuscite a immaginarvi un meccanismo del genere è il meccanismo cosiddetto di Higgs, che un certo numero di persone, tra cui Higgs in prima persona, hanno incominciato a pensare agli inizi degli anni '60: questo ha permesso di creare una teoria che si è via via affinata ed è diventata modello standard. Cosa mancava a questo modello standard? Ci sono tante teorie, nel mondo della fisica, che sono popolari per un po' di tempo e poi si dice: era una bella idea, peccato che la natura se ne freggi di una bella idea e abbia deciso di fare un'altra cosa. Era fondamentale vedere se questa particella esisteva o no. Ed è quello che abbiamo fatto ma nel frattempo erano nati altri problemi. Guardando le zone dell'universo in cui essenzialmente non c'è niente, non c'è materia che emetta o che assorba luce, abbiamo visto che le cose che stanno dietro, le più distanti, vengono deviate come se ci fosse una lente di tipo gravitazionale, fatta di una materia che non riusciamo a vedere in nessun modo se non attraverso questi effetti o per il fatto che, guardando come le galassie a spirale ruotano, siccome possiamo dire quanto sono grandi, quanta massa c'è dentro, potremmo anche dire a che velocità dovrebbero ruotare: e non riusciamo a capire questa correlazione tra la loro massa, la loro dimensione e la loro velocità. Come se ci fosse della materia, il problema è che non ce n'è pochina, ce n'è sei volte la materia di cui è fatto tutto l'universo. Tutta la nostra arroganza intellettuale di 2000 anni ci ha dato un modello che ci fa capire il 4% di quello che c'è intorno a noi. Perché l'altra cosa che abbiamo scoperto è che l'universo non solo si sta espandendo ma sta accelerando la sua espansione, come se ci fosse dentro una pressione che lo spinge in fuori: noi avremmo pensato che in questa espansione lui rallentasse, per la forza di gravità che la frena, e invece in questo momento l'universo sta accelerando. E quando uno va a calcolare quanta energia serve - per la famosa equazione che vi ha fatto vedere Lucio, sapete che energia e massa sono due maniere di dire la stessa cosa - vediamo che è il 70% di quello che è tutto l'universo. Per cui, 70% è energia oscura, il 25% è materia oscura e il 4% è tutto ciò di cui siamo fatti noi, le stelle, la luce che vediamo. Possiamo essere soddisfatti? Io penso di no. Allora, ci sono un po' di risposte ed un certo numero di anni che un sacco di persone che ci pensano sopra, un numero random di premi Nobel collegati al modello standard, alla fisica delle particelle degli ultimi 40, 50 anni. Loro hanno proposto delle cose per risolvere questo problema: queste teorie si chiamano Supersimmetria, si chiamano Extradimensioni, si chiamano Technicolor. I teorici sono molto creativi, e ovviamente gli sperimentali sperano di trovare delle evidenze che non solo ammazzino la vecchia teoria ma che ammazzino tutte quelle proposte nuove e portino ancora un pochino più avanti. Supersimmetria, ad esempio, è una maniera molto elegante di risolvere il problema della materia oscura ed altri problemi legati al bosone di

Higgs, perché dice che per ogni particella che ha un fermione, che ha spin, momento angolare intrinseco semi-intero, esisteva in natura, all'inizio, al big bang, una particella a spin intero, e viceversa. Perché dico che è elegante? Perché le particelle di forza hanno tutte spin intero, le particelle di materia hanno tutti spin semi-intero. Questa forma di simmetria realizzerebbe una simmetria tra la materia, le particelle di materia e le forze, che sarebbe un nuovo livello per capire com'era l'universo all'inizio. E chiaramente queste particelle super simmetriche, che all'inizio dell'universo erano esattamente tante quante le particelle di cui siamo fatti noi, poi sono decadute nel loro stato fondamentale e, essendo protette dal fatto che loro una volta che sono lì non possono cadere in nient'altro, se ne stanno nell'universo senza interagire con noi se non gravitazionalmente. Bella, però bisogna trovarle. Allora, cosa facciamo? Con Lhc, ricreiamo le condizioni degli inizi dell'universo, guardiamo se riusciamo a riprodurre queste particelle e se riusciamo a vederle interagire esattamente come era all'inizio dell'universo.

Le Extradimensioni sono un'altra possibilità. Avete sentito parlare di quella che, con una cattiva traduzione, viene chiamata "teoria delle stringhe"? In realtà, è la "teoria delle corde", ma le stringhe tirano. La teoria delle corde dice che le particelle elementari in realtà sono delle piccole corde che vibrano, ed è la loro vibrazione la cosa importante. Sono corde di dimensioni piccolissime: per far tornare i conti, per generare un universo stabile, hanno bisogno di un numero di dimensioni molto più grandi di quelle che usiamo noi oggi nella teoria. Però è già successo nella fisica. 120 anni fa, se andavate in giro e dicevate a una persona, per la strada: "Noi viviamo in un mondo a quattro dimensioni", il meglio che vi poteva succedere era che vi internavano in un manicomio. In realtà, poi, Einstein ha dimostrato che noi non viviamo in un mondo a tre dimensioni, spaziale e temporale separati. E lavorano assieme, perché se voi guardate un satellite che vi passa sopra la testa e guardate un orologio che è sopra quel satellite, e paragonate un secondo di quell'orologio con un secondo vostro, vedete che il secondo dell'orologio sul satellite, siccome si muove a una certa velocità, dura di più del vostro secondo. Questa cosa che sembra di nuovo totalmente immateriale, ci dice che lo spazio e il tempo sono un tessuto della stessa cosa, e questa cosa oggi la mettiamo dentro il nostro navigatore, perché se voi non metteste nel navigatore che mettete in macchina le correzioni per la teoria della relatività, sareste fuori strada 170 metri ogni pochi secondi. È chiaro che senza sapere la teoria della relatività, non è che uno si inventa: "Vorrei mettere questa correzione qui dentro". Per cui, vedete che la relatività, che sembrava una cosa totalmente astratta, la usiamo poi per andare a far la spesa.

Oggi, l'idea che si possa vivere in un mondo che all'inizio aveva tutte queste dimensioni, 10 dimensioni aperte che poi, raffreddandosi, sono diventate compatte, è un po' come se, guardando un foglio di carta, che è un oggetto tridimensionale perché ha una larghezza, un'altezza, uno spessore, trascurate lo spessore e considerate l'oggetto bidimensionale. È chiaro che, però, se volete descrivere un elefante facendo una sezione in un foglio, di sezioni ne dovete far tante, dovete capire che dovete cambiare dimensioni, se no potreste avere un'idea strana dell'elefante. E noi potremmo fare la stessa cosa, forse, oggi che stiamo scrivendo una teoria, sul numero sbagliato di dimensioni. Tutto sommato, la grande rivoluzione scientifica dell'inizio dello scorso secolo non è stata soltanto lo scrivere nuove equazioni, ma scriverle in uno spazio diverso. Bene, questo è il giocattolo fabbricato, per fare divertire i fisici, da Lucio. Lui fa molto il timido ma è stato una delle persone che ha seguito quella cosa: senza di lui, quell'oggetto sarebbe ancora molto distante. Intorno al microscopio, bisogna costruire gli occhi, e gli occhi sono questi grandi esperimenti, ne abbiamo 4 grandi e 3 piccini. Tra l'altro, volevo dire che noi italiani spesso abbiamo un po' l'idea di piangerci addosso, di lamentarci. Sino all'anno scorso i cinque responsabili dei più grandi esperimenti erano tutti italiani: io sono Direttore della Ricerca, in quel posto, e adesso sono rimasti quattro su cinque, perché c'è una rotazione. Il quinto è un americano

che si chiama Joe Incandela. E se venite al CERN, vedete quanti italiani hanno ruoli importanti perché, al di là di quello che è poi la *spoker person*, l'importante è chi fa: dovrete vedere il numero di giovani italiani che lavorano lì dentro, che vengono dalle università italiane, che sono dipendenti CERN, che sono dipendenti di istituti stranieri dove ultimamente ci stanno prendendo la gente a mazzi, perché i nostri giovani sono bravi.

Vi parlo di questi esperimenti. Sono esagerazioni, nel senso che sono oggetti alti 25 m, ATLAS, CMS è più modesto, si è chiamato Compact Muon Solenoid, pesa tre volte la torre Eiffel. Sono essenzialmente grandi occhi, grandi macchine fotografiche un po' particolari, nel senso che hanno circa 100 milioni di canali di elettronica veloci, però sono macchine fotografiche in grado di scattare 40 milioni di fotografie al secondo. Non solo questo, che è già un bell'*achievement*: in quel secondo, se le guardano tutte, 40 milioni, e selezionano le 500 fotografie in cui i protoni sorridono. Perché questa è la cosa importante. Questa è la fotografia che usiamo sempre moltissimo: c'è un nostro collega, Noel, ex Ministro della Funzione Pubblica in visita, messo lì per farlo sembrare più grande. E questo è CMS, che quando è stato calato giù, il pezzo più grande era di più di 2mila tonnellate. Allora, immaginate, se un oggetto del genere incomincia a pendolare, quando arriva in fondo, come siete contenti dopo averci lavorato vent'anni! La quantità di dati che produciamo è strepitosa, abbiamo dovuto inventarci un nuovo sistema per guardarli, perché quest'anno abbiamo già scritto 30 petabyte di dati. I petabyte sono milioni di gigabyte, e non abbiamo ancora finito. Se li avessimo scritti su dei DVD, avremmo fatto una pila di DVD alta quattro volte il Monte Bianco, e sarebbe stato poco pratico, specialmente se devi dire: "Scusa, prendimi quel dato, quello lì che sta sotto". Per cui, abbiamo dovuto inventarci un sistema diverso che è un'evoluzione del web. Le reti oggi sono diventate talmente potenti dal punto di vista della banda passante, che sono diventati più potenti della connessione interna di un computer. Sapete, un computer è fatto da tre unità essenzialmente logiche, cioè una cosa che calcola, una CPU, una cosa che contiene dei dati, una cosa che parla con l'esterno per l'input e per l'output. E tutte e tre coesistono su questo BUS che in qualche maniera regola chi parla, chi deve fare cosa in quale momento. Allora, immaginate che le reti diventino così potenti che voi potete prendere questo computer ed esploderlo sulla rete su scala geografica. A questo punto, potete realizzare il fatto di avere 250mila computer in tutto il mondo che stanno lavorando coerentemente sullo stesso set di dati, ed è quello che succede in questo istante se andate su Google e cercate il monitor di Grid, che è pubblico. Vedrete che in questo istante, probabilmente, ci sono circa 250mila job che stanno funzionando insieme. Noi abbiamo avuto picchi di mezzo milione di job in una giornata.

Perché lo facciamo? È un meccanismo di Higgs. Vi potrei scrivere un'equazione lunghissima, così vi faccio vedere che so ancora scrivere l'equazione, voi non capite niente e sarebbe più facile per me, più facile per voi. Invece no, ve lo voglio proprio spiegare. Anni fa hanno fatto una lotteria, hanno messo una bellissima bottiglia di Champagne per chi trovava l'analogia migliore. Questo meccanismo di Higgs, che cos'è? È l'idea che in tutto l'universo ci sia un campo scalare. Cosa vuol dire scalare? Che ad ogni punto dell'universo, ad ogni tempo dell'universo, potete attaccare un cartellino con scritto un valore, ma questo valore non ha una direzione, per cui sono come tanti cartellini del prezzo. Questo campo scalare interagisce con tutte le cose dell'universo che ci camminano attraverso e, a seconda di quanto è forte l'interazione, le particelle che camminano lì dentro acquistano più o meno massa. Quello che ha vinto questa competizione ha detto: Immaginiamo di avere una grande assemblea. Se in questo momento dico: "Là, in quella porta, compare Benedetto XVI", un sacco di persone lo circondano e lui, malgrado sia esile, acquista una grande massa, perché per arrivare da là a qua ci mette un sacco di tempo perché è circondato. Se entro io, non mi conosce nessuno, almeno fino a ieri, per cui vengo, mi siedo e acquisto poca massa. Sarebbe uno

dei pochi casi in cui ho poca massa. Allora, che cos'è la particella di Higgs? Per creare un oggetto che ha massa, non è necessario che arrivi Benedetto XVI, basta che qualcuno dica: "Tra 10 secondi lì arriva Benedetto XVI". Voi vi alzate, vi mettete giù, vi preparate a muovervi, perché poi lui magari viene davvero, ci mettete un sacco di tempo perché siete tutti assieme e vi muovete male, e siete il bosone di Higgs, perché il bosone di Higgs è l'interazione di questo campo con se stesso, è il quanto di questo campo che diventa una particella. Ed è quello che noi cerchiamo, perché ci dice che allora questo meccanismo c'è. E abbiamo incominciato subito, quando la macchina è stata riparata. Chiaramente avevamo delle idee, all'inizio, ne produciamo pochi per ogni collisione che facciamo, è come cercare un ago in mezzo milione di pagliai: è quello che stiamo facendo. Però abbiamo gli occhi buoni e ci siamo messi di impegno. E poi, soprattutto, Lucio ci dà tanti pagliai, per cui facciamo presto. Ebbene, già l'anno scorso abbiamo avuto i primi indizi. Queste cose non vanno 0-1, non sono una cosa digitale, uno comincia ad accumulare indizi, deve verificare se quello che vede è compatibile col fondo, con una fluttuazione, perché ci sono delle cose che sembrano decadere come bosone di Higgs ma sono la natura normale, e poi quando uno invece vede che in un certo posto succede una certa cosa più frequentemente, man mano si convince che ha fatto la scoperta, se questa scoperta è consistente.

È successo che un po' di tempo fa abbiamo iniziato a vedere eventi di questo tipo, in cui c'erano delle topologie speciali, in cui c'erano due leptoni di un certo tipo, due leptoni di un altro tipo. Quando uno ricostruiva la massa da cui erano decaduti, vedeva che gli veniva un numero intorno a 120 jev, qualche volta trovavamo due fotoni di altissima energia: quando uno costruiva la massa da cui veniva, di nuovo gli ritornava. Il 4 di luglio siamo andati a finire sui giornali, pensate, l'importante è essere convinti, per questo picchettino qua. Questo picchettino è probabilmente la più importante scoperta nel campo della fisica di particelle elementari degli ultimi 30 anni. Adesso speriamo che nel prossimo anno ce ne siano anche di meglio, non soltanto da noi, però in questo momento questa cosa è importante. Ed è importante perché corona uno sforzo gigantesco, non tecnico ma intellettuale, che è partito dagli anni '60, ha creato questo modello, prevedendo una cosa. Una teoria non è buona perché viene provata dagli esperimenti ma perché resiste agli esperimenti, alla falsificabilità. Da questo punto di vista, ora noi siamo più convinti che questa teoria dentro deve avere qualche cosa di molto profondo, perché questa cosa che prevedeva effettivamente c'è. Per farvi vedere come si cresce, questa qui era la situazione: questa fluttuazione che statisticamente non significa niente, era il punto in cui eravamo un anno fa, al grande congresso della Società Europea di Fisica. Alla fine dell'anno eravamo qui, incominciavamo a vedere. Poi, facendo l'analisi, siamo diventati un pochino meno ottimisti, e quando abbiamo deciso eravamo qua. Qua vuol dire - adesso gli esperimenti sono stati pubblicati - che la probabilità che questa cosa qui sia una fluttuazione è meno di una parte su 10 milioni. Per cui, possiamo dire che è vera, probabilmente. Nella fisica, quando una cosa ha la probabilità di essere falsa meno di una parte in qualche milione, abbiamo un effetto statistico di 5 sigma e la consideriamo una scoperta. In realtà, noi stiamo meglio di quello, innanzitutto perché gli esperimenti stanno ancora migliorando, ma poi perché abbiamo due esperimenti indipendenti ed entrambi vedono effetti simili nello stesso posto, e questo ci dice che abbiamo trovato.

Siamo molto contenti, questa cosa ci rende molto felici, ma è soltanto l'inizio perché ora si tratta di capire le caratteristiche di questa particella. Abbiamo trovato qualcosa che assomiglia a un gatto, cammina come un gatto, ma non sappiamo ancora se è un gatto che miagola o che abbaia. Se noi scopriamo che questo è un gatto che abbaia, siamo sicuri che questo qua non è l'Higgs del modello standard, perché queste altre teorie di cui vi ho parlato anche loro hanno un meccanismo di Higgs, molto più complesso, in cui ad esempio il numero di Higgs sono 5, e ci dicono qualcosa di più sulla natura dinamica della

generazione della massa. Oppure potrebbe addirittura essere qualcosa di diverso. E come facciamo a capire che cos'è? Una volta che abbiamo scoperto che esiste e a che massa esiste, le sue caratteristiche all'interno della teoria sono abbastanza determinate, per cui andando a vedere in quali canali decade, e con quale frequenza, si riesce a capire se è quello del modello standard o qualcosa di diverso. Essenzialmente, quello che faremo nel prossimo futuro sarà andare a vedere se tutti questi decadimenti stanno qua sulla fascia verde - quella del modello standard - o se stanno fuori. Adesso ne vediamo qualcuno fuori, ma che la barra dell'errore è ancora molto grande, dobbiamo renderla piccola per essere sicuri che sono fuori: in questo caso, non avremo fatto una scoperta ma due.

Per finire, vi voglio parlare di questa comunità, perché è una comunità, secondo me, interessante da un punto di vista sociologico e anche dal punto di vista della filosofia che c'è dietro. C'è sempre l'impressione, quando si parla di scienza, che noi siamo una comunità complicata: di fatto, noi siamo una delle comunità più semplici che vi possiate immaginare, più elementari, perché condividiamo un numero di principi molto piccolo e molto condiviso. Non si può essere in questa comunità se non si accetta il metodo scientifico, che non è un oggetto che è stato inventato per legge tre giorni fa, è una cosa creata all'interno di un percorso dell'umanità, che si è stabilizzata in una certa maniera che è diventata una maniera di operare: un rapporto dialettico tra l'osservazione e la speculazione. Abbiamo lo stesso interesse per la curiosità, per l'andare avanti, e poi siamo una comunità che usa al massimo due cose allo stesso tempo, collaborazione e competizione. Hanno inventato un nuovo termine per la nostra comunità, si chiama *coopetition*, perché non si può fare questo tipo di ricerca se non si collabora, e non si può fare se non si compete, anche: e la competizione è sia verticale che orizzontale. La gente compete all'interno dello stesso gruppo di ricerca perché gli piace essere quello che dà il suo contributo. La ricerca, poi, è un altro oggetto fantastico perché la scienza è intrinsecamente non democratica e questo la qualifica, nel senso che non si può decidere chi ha ragione per voto. Se qua dentro tutti siamo d'accordo che la pressione è un vettore, e si alza uno a dire che ci sbagliamo, ha ragione lui, è inutile che la mettiamo ai voti! Per cui, è legata al fatto che ogni tanto si cambia paradigma e dev'essere fatto in modo democratico, bisogna dare la possibilità al singolo che ha l'idea giusta di presentare la sua idea, di difenderla davanti a dei pari e di essere giudicato attraverso il metodo sperimentale, e non dall'ideologia o dal pregiudizio. E poi, siamo liberi da orientamenti politici, religione, razze, come comunità: la ricerca fondamentale è semplice per cui siamo una comunità semplice. Siamo una colonia di formiche interessante da studiare. E in realtà, siamo anche una comunità che è molto più inserita nella società di quanto si pensi. I film americani di serie B hanno rovinato l'immagine dello scienziato: voi immaginate sempre lo scienziato come uno con la casacca bianca, un po' sconvolto, che ha i capelli dritti e vive fuori dal mondo... In realtà, gli scienziati sono uomini normali, che si pongono questioni estremamente grandi ma in una maniera molto pratica. E poi, scordatevi l'idea che gli scienziati facciano una scoperta un giorno sì e un giorno no: la maggior parte del nostro lavoro è il lavoro fatto con passione, il lavoro di tutti, di routine. Ogni tanto facciamo qualcosa di più. L'altra cosa che dovete dimenticarvi è che gli scienziati siano particolarmente intelligenti perché esistono dei teoremi. C'è un saggio fondamentale di uno storico che si chiama Carlo Maria Cipolla, che ha scritto un saggio clamoroso, si chiama: *Allegro ma non troppo*. E' un saggio sulla stupidità, che dice che il numero di cretini è indipendente dal mestiere che uno fa, dagli studi che ha fatto, dalla razza, dalla provenienza sociale, ed è una costante che si applica anche ai fisici: quanto a numero di cretini, noi siamo nella media. Quello a cui non crediamo e che combattiamo fortemente è il secondo teorema di Cipolla, che dice che la quantità di intelligenza nel mondo è una costante e la popolazione è in aumento, e questo è devastante, no? Per cui, noi cerchiamo di dare il nostro contributo a far crescere la quantità di intelligenza, per lo meno

quanto la quantità di popolazione. Fatto questo, essenzialmente noi abbiamo anche un'altra fortuna, che siamo alla ricerca della prossima cosa, sapendo che per ogni risposta che troviamo apriamo delle domande più profonde. Per cui, se volete, siamo una religione del dubbio critico, non una religione della verità. C'è un famoso detto latino, che dice che dove c'è il dubbio c'è la libertà. Come funzioniamo? Abbiamo bisogno di tre cose fondamentali: la prima credo che voi lo capiate bene, perché non fate una cosa come questa se dietro non c'è un'idea. Io mi sento molto in assonanza con lo spirito che sento in queste cose, perché voi non fate questo Meeting perché vi pagano, per diventare famosi o ricchi, ma per coltivate il 5% del vostro sogno, della vostra maniera di contribuire alla società. E questo è fondamentale anche nel nostro caso: ognuno di noi, nel suo lavoro, deve mantenere dentro questo 5% di sogno che gli permette di dire: "C'è una piccola cosa che io posso portare a beneficio della scienza, che è originale, l'ho fatta io e, se non la facevo io, magari non l'avrebbe fatta nessuno o l'avrebbero fatta dopo". Questo ci muove moltissimo. Poi, ci sono quelli che il loro 5% è in realtà 100% o 1000%, e sono i geni. E poi ci sono quelli che credono di essere geni ma sono casi clinici e fanno parte di quell'altra cosa. Un altro elemento è che uno deve avere un sistema in cui sia facile e si favorisca la capacità di suonare in una grande orchestra. Ci vuole senso di solidarietà, vedere il problema, interessarsi all'altro e, nello stesso tempo, un occhio molto attento nel capire chi è quello che ha la cosa in più, il solista, perché quello deve essere spinto, deve essere pressato per dare di più. E poi, bisogna creare una forma - e da noi funziona benissimo - perché l'autorità in questo campo non funziona un granché, un meccanismo in cui si guida per autorevolezza e non per autorità. Vi faccio un esempio: io sono Direttore Scientifico del CERN. In questo ambiente, se io sono Direttore Scientifico del CERN e sono cretino, io sono prima cretino e poi Direttore Scientifico: è molto importante. Infine, il futuro: è facile lamentarsene, è un futuro in cui adesso c'è la crisi da cui non usciremo tornando dove eravamo prima. C'è un'unica possibilità: andare avanti. Il mondo globalizza, nessuno sta fermo, non possiamo stare fermi neanche noi. La ricerca gioca un ruolo fondamentale nel garantire un futuro sostenibile a noi e ai nostri figli, per cui dobbiamo investire in questa cosa. Se uno ha un sacco di grano e lo pianta tutto, lo investe in ricerca, muore di fame aspettando il raccolto. Ma se lo mangia tutto, muore di fame l'anno dopo. Per cui, bisogna trovare un bilanciamento giusto per fare queste cose. Bisogna capire che la materia prima più importante, nel futuro e nel mondo, è già ora la conoscenza. E non possiamo perdere quella corsa: bisogna convincere i nostri politici che, mentre noi spesso tagliamo, i Paesi emergenti o emersi stanno investendo un sacco in ricerca fondamentale o ricerche e innovazioni in generale. La Cina produce 1.300.000 ingegneri ogni anno e 25.000 dottorati in fisica. Questi sono i tipi di competizione che ci ritroveremo davanti: e io personalmente penso che la finanziarizzazione del mondo è contrabbandare, che mettere sullo stesso piano il futuro coi *futures*, non sia una buona idea. Grazie mille.

MARCO BERSANELLI:

Quanti spunti, no? E che ricchezza a diversi livelli, abbiamo ricevuto da questo dialogo di oggi. Dovendo concludere, perché il tempo è quello che è, una cosa soprattutto mi ha catturato in quello che diceva adesso Sergio: come, per andare avanti, per avere questo processo di discontinuità, di vera novità - ha detto a un certo punto - "occorrano degli occhi vergini", degli occhi puri, degli occhi giovani, dove qualcuno si accorga della novità dove tutti vedono la solita scena. E questa è un'educazione dello sguardo che la scienza valorizza veramente tanto e che un'esperienza grandiosa come quella che abbiamo ascoltato oggi ci testimonia. E ci fa vedere anche - Lucio ha fatto vedere in questo senso alcuni esempi spettacolari - come questo diventi utile a tutti in modo imprevedibile. Nessuno avrebbe immaginato certe cose che oggi possiamo utilizzare per il bene, quando usiamo responsabilmente questa conoscenza che abbiamo ottenuto. Nessuno avrebbe

potuto immaginarlo, quando ci si è mossi per quella curiosità. Quindi, concludo con una frase di Richard Feynman, uno dei più grandi fisici del nostro tempo, perché mi sembra che raccolga spunti anche esplicitamente accennati nel dialogo di oggi e che rimandi a questo sguardo che non è soltanto dei fisici ma che è una dimensione dello sguardo di ogni uomo sulla realtà. Dice: “La stessa emozione, la stessa meraviglia e lo stesso mistero, nascono continuamente ogni volta che guardiamo a un problema in modo sufficientemente profondo. A una maggiore conoscenza si accompagna un più insondabile e meraviglioso mistero che spinge a penetrare ancora più in profondità”. Grazie a tutti e arrivederci.