



INAUGURAZIONE  
TRENTACINQUESIMO ANNO ACCADEMICO  
2017-2018

---

---

Prolusione

Nicola Cavallo

*“La Big Science tra fisica e società”*

*Potenza, 19 febbraio 2018*

## BIOGRAFIA

Nato a Salerno il 30 marzo 1954, si è laureato in Fisica presso l'Università degli Studi di Napoli “*Federico II*” e, successivamente, ha conseguito il Diploma di Perfezionamento in Scienze Fisiche e Cibernetiche presso l'Università degli Studi di Salerno.

Nell'Università degli Studi della Basilicata, dove è arrivato nel 1999, dopo 17 anni di ricerca svolta nell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, è Professore Ordinario di Fisica Sperimentale presso il Dipartimento di Scienze.

La sua attività di ricerca è iniziata nel settore della radiazione di sincrotrone prodotta da elettroni su macchine acceleratrici circolari e lineari (esperimenti PWA –*Project Wiggler Adone*–, LELA –*Laser ad Elettroni Liberi su Adone*–, LISA –*Linear Superconducting Accelerator*–). Successivamente si è dedicato alla fisica delle particelle elementari, dapprima su anelli di accumulazione elettrone-positrone (esperimento L3, condotto dal premio Nobel S.C.C.Ting, presso i laboratori del CERN di Ginevra, esperimento BaBar, condotto da David Hitlin presso il laboratorio SLAC dell'Università di Stanford, negli Stati Uniti) e, successivamente, su anello di accumulazione protone-protone (Esperimento CMS sul Large Hadron Collider presso i laboratori del CERN).

È autore di molte centinaia di pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali con referee.

Ha ricoperto, presso l'ateneo lucano, l'incarico di Presidente del Centro Interfacoltà per i Servizi Informatici e Telematici (CISIT) e, successivamente, quello di Direttore del Dipartimento di Scienze Geologiche.

È stato Prorettore con delega all'Autovalutazione della Didattica e della Ricerca ed alle relazioni con il Nucleo di Valutazione di Ateneo; quindi Presidente del Presidio della Qualità dell'Università degli Studi della Basilicata.

Attualmente svolge la propria attività di ricerca nell'ambito della collaborazione internazionale CMS, uno dei due esperimenti che, nel 2012, hanno confermato il meccanismo di Brout-Englert-Higgs attraverso la scoperta del cosiddetto bosone di Higgs.

Magnifica Rettrice, Colleghe e Colleghi Docenti e del Personale Tecnico-Amministrativo, Direttore Generale, Studentesse e Studenti di quest'Ateneo, Autorità, Illustri Ospiti, Signore e Signori presenti è un onore per me rappresentare oggi, in occasione dell'inaugurazione dell'Anno Accademico di questo Ateneo, il Dipartimento di Scienze.

Non disponendo di un tempo sufficiente a parlarvi, in modo semplice ma anche necessariamente rigoroso, degli ultimi risultati scientifici, che convalidano i modelli più accreditati ed al tempo stesso aprono nuovi e ben più intriganti scenari di ricerca, ho scelto un tema più generale ed accessibile che possa mostrarvi l'importanza della ricerca scientifica di base.

Lo farò, non discostandomi dalla mia disciplina, la Fisica, nel campo della cosiddetta *Big Science*. Prenderò spunto, infatti, da due scoperte importanti che hanno mutato sostanzialmente le risposte a due delle domande che, sin dall'antichità, l'uomo si è sempre posto: “*come ha avuto origine l'universo?*” e “*di cosa siamo fatti?*”.

## LA BIG SCIENCE

La Big Science non è solo un progetto di ricerca scientifica pluriennale che richiede cospicui finanziamenti, numerosissimi gruppi di ricercatori provenienti da molte nazioni così come enormi laboratori scientifici con grandi e complesse apparecchiature, non sostenibili da una singola nazione [1]. Essa è anche, ed aggiungerei “soprattutto”, un *modello collaborativo e competitivo* così come un *modello sociale*, come spero sarà chiaro al termine della mia breve relazione.

La prima e vera nascita della Big Science risale agli anni 1942-46 quando, con ingenti finanziamenti e un personale estremamente elevato, fu realizzato negli Stati Uniti il *Progetto Manhattan* con lo scopo, tra gli altri, di arrivare a produrre ordigni nucleari. Al progetto parteciparono moltissimi scienziati dell'epoca tra i quali due italiani di spicco, Emilio Segrè ed Enrico Fermi, costretti ad abbandonare il nostro paese per l'intolleranza razziale. Il risultato, purtroppo, lo conosciamo tutti: 6 agosto 1945 Hiroshima e, tre giorni dopo, il 9 agosto Nagasaki [2].

Analogie con il modello organizzativo della Big Science si riscontrano nell'astronautica (*il programma Apollo negli Stati Uniti*) [3], nella fusione nucleare (*il progetto internazionale ITER*) [4], nel campo delle ricerche bio-mediche (*l'Human Genome Project*) [5] ma anche nel Programma EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) per la gestione di satelliti meteorologici, al quale partecipano alcuni dei colleghi fisici di questo stesso ateneo, che si occupano di osservazione della Terra.

La Big Science nasce quando la società ritiene che un'area di ricerca sia talmente importante da giustificare per essa l'investimento di ingenti finanziamenti e risorse.

Già, ma quando vale la pena di investire in ricerche scientifiche?

## LA FISICA

Affronterò il tema della ricerca di base pura [6] che, assieme alla ricerca applicata e a quella sperimentale costituisce l'attività di ricerca e sviluppo (R&D) che troviamo, in proporzioni differenti, nelle università, nei centri di ricerca e nelle più evolute e lungimiranti realtà imprenditoriali ed industriali.

Lo farò per la Fisica che, come scrive il fisico britannico Paul Davies, è la più presuntuosa delle scienze, perché pretende di avere a che fare con tutta la realtà, dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande, e considera come proprio laboratorio l'intero universo.

Essa, secondo la descrizione del matematico Lucio Russo [7], è una “*scienza esatta*” fondata cioè sull'astrazione, sulla logica ipotetico-deduttiva e sul metodo scientifico sperimentale, applicati in modo

sistematico. Ciò fa di essa, della chimica e di quella parte della biologia non tassonomica, la biochimica, il gruppo delle cosiddette “*scienze sperimentali*”.

Negli ultimi anni (dal 2012 al 2015) abbiamo vissuto due momenti di straordinaria importanza che hanno rivoluzionato il nostro modo di guardare l'universo e dato il via a nuove tipologie di ricerca, oltre che portare all'assegnazione di ben due Premi NOBEL [8].

La scoperta del Bosone di Higgs (annunciata il 4 luglio del 2012) [9] nel campo dell'infinitamente piccolo e quella delle Onde Gravitazionali [10] (rivelate il 14 settembre 2015 ed annunciate l'11 febbraio 2016) nel campo dell'infinitamente grande, hanno aperto nuovi orizzonti d'indagine al fine di ridurre le nostre incertezze su ciò di cui siamo fatti e ciò che ci circonda.

L'affermazione del 1900 di Lord Kelvin “*Nella fisica non c'è più niente da scoprire. Da fare restano soltanto misurazioni sempre più precise*”, oggi ci sembra ridicola, in particolare dopo le scoperte dell'inizio del novecento, la teoria dei quanti, la relatività, la meccanica quantistica, che hanno sconvolto la fisica e la società. Oggi sappiamo che l'universo è decisamente più grande e più antico di quanto immaginassero Lord Kelvin e i suoi contemporanei.

Il cantautore napoletano Alan Sorrenti cantava nel 1977 “*noi siamo figli delle stelle*”. Non aveva affatto torto: i nuclei pesanti di molti fondamentali atomi del nostro organismo e di tutto ciò che ci circonda, provengono appunto dai processi di nucleosintesi stellare e distruzione delle prime stelle e sono giunti fin qui grazie ai collassi gravitazionali delle stesse e alle conseguenti esplosioni di supernova. I protoni del nucleo, inoltre, hanno una vita che è circa un milione di miliardi di miliardi di volte quella dell'universo.

L'universo nel quale viviamo è fatto, dunque, di “*materia*” molto vecchia; gli atomi di cui siamo fatti noi e tutto ciò che ci circonda hanno più o meno l'età dell'universo, e cioè circa 13,8 miliardi di anni, il tempo che è trascorso dal Big Bang. La materia, quindi, si trova oggi in una condizione molto diversa da quella iniziale. Per capirne qualcosa in più riguardo alle nostre origini, quindi, occorre studiare l'universo com'era agli albori. Abbiamo bisogno, in un certo qual modo, di una “*macchina del tempo*”.

Si può fare ciò seguendo due strade.

La prima, perseguita da astronomia ed astrofisica, consiste nello studiare stelle, galassie e ammassi di galassie lontane. Osservando il cielo con i telescopi ottici, i radiotelescopi, i rivelatori di radiazione posti su satelliti orbitanti, sonde spaziali e, ora, anche in concomitanza con i rivelatori di onde gravitazionali, possiamo studiare come erano fatte milioni o miliardi di anni fa a seconda della distanza che ci separa da esse. C'è però un limite a questo tipo d'indagine. Prima di 380'000 anni dopo il Big Bang, i fotoni (la radiazione elettromagnetica, qual è ad esempio anche la luce) non erano liberi, essendo continuamente riassorbiti dalla materia primordiale circostante fatta di particelle elementari. I nostri strumenti d'osservazione, quindi, non possono “*vedere*”, e misurare, cosa succedeva prima di quell'epoca perché la “*luce*” non può raggiungerci. È come se ci fosse un “*muro*”. L'universo, a quell'epoca, era “*opaco*”.

La seconda strada ha un approccio differente. Per studiare cosa è avvenuto prima –che poi è ciò che più c'interessa– impieghiamo grandi acceleratori di particelle, facciamo urtare –ad esempio– protoni liberi uno contro l'altro, e ricreiamo le condizioni che erano presenti nell'universo un centesimo di miliardesimo di secondo dopo il Big Bang ( $10^{-11}$  sec). Possiamo così studiare particelle che non esistono più in natura ma che sono esistite in quel momento. Quest'ultima è la strada che io ed i miei colleghi fisici del Dipartimento di Scienze stiamo perseguendo.

La scoperta del bosone di Higgs, a 48 anni dall'intuizione dello scienziato scozzese Peter Higgs (1964), è stata l'ultima tessera, la più importante di quel grosso e intricato puzzle che è il Modello Standard, come viene chiamata la teoria attualmente più accreditata, la quale descrive tutte le particelle note: quelle che costituiscono la materia ordinaria e quelle che –nei nostri laboratori– produciamo artificialmente perché non più esistenti già dai primi istanti dopo il Big Bang.

Malgrado lo straordinario successo, il Modello Standard non spiega tutto; di alcuni fatti fondamentali, non conosciamo ancora la causa [11]. Esso, quindi, è solo un'approssimazione. Noi diciamo che è “*incompleto*”.

Cosicché il nostro obiettivo è quello di cercare, identificare e misurare eventuali nuove particelle elementari sconosciute e comprenderne i meccanismi d'interazione.

## LA LUNGA CACCIA ALL'HIGGS

Per studiare le particelle elementari, come i quark e le loro interazioni servono grandi acceleratori come l'LHC (Large Hadron Collider), dei laboratori del CERN di Ginevra, che sono macchine in grado di far collidere i protoni tra loro e creare particelle che non esistono in natura.

Servono poi gli apparati sperimentali, ovvero strumenti giganteschi dotati di innumerevoli rivelatori che registrano le particelle prodotte quando emergono dal punto di collisione tra i protoni. Per raccogliere, conservare, distribuire ed analizzare l'enorme quantità di dati prodotti dai rivelatori servono anche sistemi di supercomputing, capaci di rendere accessibili a chiunque le informazioni raccolte. E infine, cosa non meno importante, serve un modello di Scienza collaborativa su scala mondiale: migliaia di scienziati ed ingegneri (possibilmente giovani) per progettare, costruire e far funzionare queste macchine molto complesse.

La caccia al bosone di Higgs è iniziata quasi trent'anni fa, al CERN, con un grande progetto.

L'acceleratore più grande del mondo, l'LHC, fu approvato nel 1993 ed è entrato in funzione nel 2009. È un anello di 27 km che corre 100 metri sotto terra, in prossimità del confine franco-svizzero, dove sono collocati gli apparati sperimentali maggiori ATLAS e CMS –*anche noi in questo ateneo abbiamo partecipato alla scoperta del bosone di Higgs nella collaborazione CMS*–, così come quelli di dimensioni più contenute ALICE, LHCb –*al quale partecipa un altro gruppo di questo ateneo*–, LHCf e TOTEM.

L'apparato CMS (*Compact Muon Solenoid*) ha una lunghezza di 21,5 metri ed un diametro di 14,5 metri per un peso totale di circa 12'500 tonnellate –*entra a stento in quest'aula, per intenderci*– [12]. Esso è una enorme macchina fotografica con 100 milioni di canali. Macchine fotografiche da cento milioni di pixel esistono anche se costano non poco; una fotocamera che però scatta 40 milioni di fotografie al secondo, le guarda e sceglie le 500 migliori da conservare non esiste. L'analisi di questo enorme flusso di dati avviene con una infrastruttura di rete, che chiamiamo GRID, composta da 500'000 processori disposti in 170 centri di calcolo in giro per il mondo, alla quale accedono ogni giorno circa cinquemila ricercatori.

Non si può costruire e far funzionare oggetti così grandi e complessi se non si dispone di un laboratorio comune a tutti coloro che studiano queste cose. Vediamo, quindi, com'è nato il laboratorio di fisica più grande del mondo, il CERN di Ginevra.

## IL CERN

Nei primi anni del dopo-guerra, l'Europa era interessata dal Piano Marshall (1947–1951) che, instaurando un modello economico di tipo “americano”, diede respiro all'economia. Durante il periodo bellico molti scienziati (qualcuno li chiamerebbe oggi “cervelli in fuga”), a causa delle leggi razziali da un lato e perché gli USA avevano bisogno di know-how scientifico e tecnologico per contrastare la Germania dall'altro, lasciarono l'Europa per stabilirsi negli Stati Uniti.

Sul finire della guerra, nel 1945, Vannevar Bush, consigliere scientifico del Presidente americano F.D. Roosevelt, preparò un rapporto [13] che, di fatto, mostrò il nuovo corso della ricerca scientifica statunitense. La ricerca scientifica e, più in generale, la produzione di nuova conoscenza vengono considerati –per la prima volta– il motore principale dell'economia moderna.

Contemporaneamente, negli anni del dopo-guerra molti uomini di stato europei, Konrad Adenauer, Jean Monnet e l'italiano Alcide De Gasperi, cercarono di ricostruire un tessuto politico europeo per riavviare l'economia e le nazioni uscite distrutte dal conflitto.

I fisici, prima degli altri, compresero il bisogno di “pacificazione” e di “unificazione”, e capirono che

queste potevano essere raggiunte sia con la ricerca scientifica di base che con la costruzione di un laboratorio internazionale che fosse la “*casa di tutti*”. Ciò, in un certo qual modo, rifletteva l’intuizione di V. Bush. La “scienza”, tuttavia, non doveva in alcun modo avere scopi militari, doveva essere “*aperta*”, “*collaborativa*” ed “*inclusiva*”. Tra gli scienziati convinti di questa necessità, c’era Edoardo Amaldi che fu il primo protagonista della costituzione nel 1954 del CERN (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) e ne fu il primo Direttore.

La denominazione “*nucleare*” non deve, tuttavia, spaventare. All’epoca non si sapeva ancora che i nucleoni (cioè il protone ed il neutrone che costituivano il nucleo dell’atomo) fossero composti da entità più piccole (quark) e, quindi, per “*fisica nucleare*” si intendeva lo studio dei costituenti elementari della materia distinguendola dalla “*fisica atomica*”, che studiava le proprietà dell’atomo come sistema isolato.

Oggi il CERN ha 22 stati membri, ha uno staff di circa 2500 persone, altre 4000 sono sul libro paga (cioè hanno contratti temporanei); sono oltre 13’000 i ricercatori che afferiscono ai laboratori. Il CERN, di fatto, è un cittadina di 15’000 persone –il cui picco d’età si aggira intorno ai 27 anni– e di cui almeno 3000 sono studenti PhD. Di questi quindicimila, circa 2’000 sono ricercatori delle istituzioni universitarie e dei centri di ricerca italiani, per lo più afferenti all’Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN).

Se tuttavia ci soffermassimo a contare i passaporti di coloro che appartengono a questa grande comunità, scopriremmo una cosa molto interessante, ossia che il numero di passaporti italiani rappresenta il 106–107% del numero di ricercatori che provengono dalle università e dai centri di ricerca italiani. Ciò significa che il rapporto tra il “*brain gain*” ed il “*brain drain*”, ossia tra chi guadagna e chi perde, afferma chiaramente che molti dei nostri ricercatori giovani e meno giovani sono emigrati ed hanno trovato lavoro in istituzioni di ricerca straniera. Ci sono, quindi, due aspetti importanti sui quali riflettere: il primo è che l’Italia prepara ricercatori di ottimo livello, i quali vengono richiesti all’estero; il secondo è che non siamo capaci di tenerceli, alimentando quella che ormai tutti chiamano “*fuga di cervelli*”.

Inoltre, sono presenti ricercatori italiani anche nelle posizioni apicali [14]. Basti ricordare che l’attuale Direttore Generale del CERN è una ricercatrice italiana, Fabiola Gianotti; importante, in questa comunità particolare, è anche la partecipazione delle ricercatrici che ha mostrato, negli ultimi anni, un trend decisamente positivo [15] contrariamente a quanto succede in altri ambienti.

C’è, infine, un altro aspetto che credo sia molto importante e meritevole di essere citato. In questo momento non esistono molti posti al mondo dove potete veder lavorare assieme palestinesi e israeliani, pakistani ed indiani, iraniani ed americani ed anche, come spesso diciamo scherzando, italiani ed italiani. Se riuscite a lavorare senza problemi, con migliaia di persone provenienti da tutto il pianeta, significa che il messaggio è quello giusto; esso fa sì che culture, popoli, religioni e tradizioni differenti riescano a lavorare assieme senza nessun tipo di dissidio, per il “progresso” scientifico.

## L’UTILITÀ

Ma tutto ciò è veramente necessario?

Spesso, nella mia vita di semplice cittadino ma anche di ricercatore mi è capitato di ascoltare, riferite ad alcuni campi della ricerca, frasi del tipo “*ma a cosa ci serve?*”, talvolta seguite da un convinto “*non serve a nulla!*”. Nel comune sentire, alcune ricerche non servono poiché non hanno come fine quello di scoprire qualcosa di “*utile*” e “*concreto*” e, quindi, sono soltanto uno spreco di soldi e di tempo, oltre che di risorse umane, le quali potrebbero essere impiegate in cose più “*necessarie*”.

Spesso, inoltre, prendendo spunto dall’entità dei costi sostenuti (nella maggior parte con finanziamenti statali) si ascoltano frasi del tipo: “*ma non potevamo impiegare questi soldi per scoprire una cura contro il cancro?*”, come se la “*scoperta*” fosse una logica ed automatica conseguenza del “*ri-cercarla*”. Alla domanda “*a che serve tutto ciò*” [16] spesso è difficile rispondere poiché le applicazioni di una scoperta scientifica possono giungere molto tempo dopo, anche dopo parecchie decine di anni.

A volte, tuttavia, sfugge il fatto che non è tanto importante la scoperta di un nuovo fenomeno o delle cause di uno già noto quanto, piuttosto, che le tecniche studiate, i materiali realizzati e gli strumenti inventati o sviluppati per giungere a quella scoperta, hanno di per sé un valore enorme nell'impiego sociale e nella vita quotidiana.

La ricerca scientifica, in realtà, non serve a “scoprire” cose utili all'umanità, o meglio non è questo il fine più rilevante. Scopo della ricerca scientifica è quello della “conoscenza”, così come la motivazione della maggior parte di noi ricercatori è il desiderio di comprendere i meccanismi che stanno alla base di qualsiasi fenomeno o evento naturale.

È chiaro, da ciò che ho appena finito di mostrare, che LHC produca “conoscenza”. La ricerca su LHC vive, tuttavia, anche di “tecnologia”.

Per realizzare un acceleratore, o qualsiasi altro apparato sperimentale, occorre sviluppare sia tecniche che strumenti; tecniche e strumenti che o non esistono ancora o sono troppo costosi. Ciò che “ideiamo” e “realizziamo” fornisce, quindi, un beneficio, un ritorno diretto ed immediato alla società.

Vediamo solo qualche caso, focalizzando la nostra attenzione sulla salute.

La fisica delle particelle elementari ha contribuito sensibilmente all'ideazione ed al miglioramento di strumenti medico-diagnostici sempre meno invasivi, meno dannosi ed efficaci. Un esempio è la PET (*Positron Emission Tomography*) che usa il positrone (l'antimateria dell'elettrone) emesso da alcuni radio-nuclidi che vengono iniettati appositamente nel corpo umano, attraverso opportuni radio-farmaci. Dopo la scoperta del positrone nel 1932 è solo nell'autunno del 1977 (45 anni dopo) che tre ricercatori al CERN di Ginevra “scattarono” la prima immagine –molto grossolana– del cervello di un ratto usando la rivelazione dei due raggi  $\gamma$  prodotti dall'annichilazione del positrone e dell'elettrone.

La PET, dopo la scintigrafia, consente oggi di monitorare il comportamento dinamico di un organo ed è impiegata ormai diffusamente nelle diagnosi di malattie oncologiche.

La produzione di alcuni specifici radio-farmaci, a causa della breve vita media dei radio-nuclidi impiegati, deve essere fatta nella stessa sede dove si fanno gli esami diagnostici. Per produrre i radio-nuclidi si impiegano piccoli acceleratori chiamati *ciclotroni*. La produzione industriale di questi impianti risente significativamente delle ricerche e delle tecniche sviluppate nella costruzione delle grandi macchine acceleratrici come LHC.

Il trasferimento del know-how alle imprese è importante anche per quanto riguarda, ad esempio, la costruzione di magneti superconduttori di piccole dimensioni come quelli impiegati, normalmente, negli apparati per la Risonanza Magnetica Nucleare (NMR).

I rivelatori che inventiamo per i nostri esperimenti necessitano, come già accennato, di grande efficienza (in pratica il numero di particelle rivelate rispetto a quello totale delle particelle incidenti) ed elevata risoluzione spaziale e/o temporale. Queste caratteristiche sono fondamentali per migliorare sensibilmente gli strumenti medico-diagnostici, consentendo una minor esposizione ai radionuclidi (corrispondente ad una maggiore efficienza di rivelazione) ed una sensibile accuratezza nella individuazione della posizione delle cellule cancerogene (corrispondente ad una migliore risoluzione spaziale).

Sull'altro versante, quello della terapia, nel mondo attualmente ci sono oltre 25'000 acceleratori di particelle (essenzialmente LINAC, gli acceleratori lineari) utilizzati per debellare i tumori danneggiando la capacità riproduttiva del DNA delle cellule malate ed impedirne, così, la proliferazione.

A differenza di elettroni e raggi x (radioterapia), che s'addentrano poco e rilasciano sempre meno la dose necessaria -man mano che penetrano nel corpo umano- distruggendo tutto ciò che incontrano, ora si utilizza una nuova tecnica, che consiste nell'impiego di protoni o ioni pesanti (ioni carbonio). Questa tecnica, chiamata “*adroterapia*”, consente di ottenere un rilascio di dose solo alla profondità desiderata-

CATANA (*Centro di AdroTerapia e Applicazioni Nucleari Avanzate*), nel 2002, è stata la prima facility italiana per adroterapia. Nata dalla collaborazione fra i Laboratori Nazionali del Sud (LNS) dell'INFN ed

alcuni istituti ospedalieri, applica la protonterapia per il trattamento di melanomi oculari e vari tumori dell'apparato visivo.

Il mio amico e collega, Giacomo Cuttone, [17] Direttore dei LNS, mi ha confermato che grazie alle terapie somministrate presso questo centro, finora, il 98% dei pazienti è sopravvissuto e nel 96% dei casi la malattia viene tenuta sotto controllo, con il vantaggio di non dover ricorrere ad interventi profondamente invasivi.

E' recentissima, del mese scorso, la sperimentazione dell'impiego in protonterapia del boro [18], a cui partecipano ricercatori italiani dell'INFN. La reazione nucleare  $p+^{11}\text{B}$  può essere impiegata per aumentare l'efficacia della terapia almeno del 20% rispetto alla sola protonterapia.

A Pavia il CNAO (*Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica*), inaugurato nel 2010, rappresenta una realtà per il trattamento, con protoni ed ioni-carbonio, di varie tipologie di tumori resistenti alla radioterapia convenzionale o non operabili. Molte parti che costituiscono il sincrotrone, l'acceleratore impiegato per produrre i protoni, sono state sviluppate assieme all'INFN ed al CERN.

Si stima, e cito il Registro dell'AIOM (*Associazione Italiana di Oncologia Medica*), che nel nostro Paese vi siano nel corso dell'anno più di 360'000 (in pratica 1'000 al giorno) nuove diagnosi di tumore, circa il 52% fra gli uomini ed il 48% fra le donne [19].

Se qualcuno si fosse posto il problema di “inventare” tecniche per curare i tumori... così, dal nulla, damblè, non saremmo mai stati in grado di concepire progetti come CATANA e CNAO, non avremmo acquisito le conoscenze necessarie dei processi fisici e biologici, le tecniche di produzione/trasporto/posizionamento/monitoraggio dei fasci di protoni o ioni, non avremmo avuto ricercatori con le competenze necessarie, spesso multidisciplinari... tutto ciò –in pratica– sarebbe stato impensabile!!!

Non posso dilungarmi ad elencare le innumerevoli implicazioni del nostro lavoro in altri settori. Mostro soltanto un paio di esempi che impiegano alcune particelle che chiamiamo muoni (“fratelli” più pesanti dell'elettrone, con una massa circa 200 volte superiore) provenienti dalle interazioni dei raggi cosmici con la nostra atmosfera.

A differenza dei raggi X, i muoni riescono ad attraversare –a secondo dell'energia– anche chilometri di materiale e si prestano, quindi, ad essere impiegati per fare misure di flusso e direzione “attraverso” la roccia. Un “deficit”, più o meno marcato, di muoni in una certa direzione consente di fare una “radiografia muonica”, del tutto simile a una radiografia, anche all'interno di un vulcano. Ciò ha permesso ai ricercatori giapponesi, ad esempio, di ricostruire un modello tridimensionale dell'interno del vulcano Asama, evidenziando spazi e cavità entro i quali il magma si muove. Anche a Napoli, ricercatori dell'INFN e dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) hanno svolto studi simili sul Vesuvio. [20,21] Inutile aggiungere quanto questo sia importante per conoscere meglio i meccanismi e per ideare nuove tecniche e misure da usare come “precursori” di eventi naturali.

Rivelatori per muoni cosmici accoppiati a tecniche di tracciamento e ricostruzione di assorbimento nelle rocce sono stati impiegati anche nello studio e caratterizzazione di beni culturali come la ricerca di ambienti o gallerie nascoste, (ad esempio la piramide di Cheope a Giza [22] o il tunnel borbonico sotto la collina di Pizzofalcone a Napoli [23]), e possono essere impiegati per identificare la presenza di elementi pesanti –tipici delle sorgenti radioattive– in autocarri e container [24,25] fornendo un significativo contributo alla risoluzione di problemi di sicurezza.

Esistono, inoltre, innumerevoli applicazioni degli acceleratori per usi industriali: Microlitografia per produzione di circuiti integrati; saldature, tagli, fusione di metalli e ceramiche; analisi di elementi in traccia, sterilizzazione di cibi, produzione di raggi X per analisi di difetti nei materiali metallici.

## I COSTI E I RICAVI

Dopo esserci posti il problema di capire se questa particolare Big Science sia necessaria, non ci resta che sincerarci che il suo finanziamento sia congruo.

LHC e gli apparati sperimentali più importanti (ALICE, ATLAS, CMS e LHCb), secondo stime di qualche anno fa, sono costati circa 7 miliardi di € [26], spalmati su 15 anni (circa 470 M€/anno). L'Italia ha contribuito per il 12%, circa 60 M€/anno.

La stessa Italia, paese tristemente in coda nel panorama europeo per spese in istruzione superiore e ricerca, spende un po' meno di 7 G€/anno per l'università e un po' meno di 6 G€/anno, a seconda degli anni, in spese per R&D negli stessi atenei, con una percentuale rispetto al PIL di poco più dell'1% [27]. La spesa sostenuta per LHC dall'Italia, quindi, rappresenta appena qualche punto per mille degli investimenti sostenuti per l'università e per la ricerca.

È importante, ora, considerare il ritorno di LHC [28] su almeno tre piani: quello delle commesse industriali, quello del know-how e quello dell'education.

Il ritorno industriale per l'Italia, sia per i beni che per i servizi, è in positivo. Il coefficiente di ritorno, ovvero la frazione di pagamenti a ditte italiane per forniture di beni, rispetto alla frazione di finanziamento italiano al CERN è maggiore di uno, chiaro segnale della presenza e della competitività dell'industria nazionale[29].

Ma, ovviamente, questo è solo un risultato economico. Questi ordini, che trattano strumentazione altamente tecnologica ed avanzata, sono stati fatti alle industrie italiane del settore che hanno svolto un enorme lavoro di R&D assieme agli stessi ricercatori dell'INFN e del CERN. Il CERN, inoltre, non brevetta nulla di quanto "sviluppato" e, quindi, le aziende che collaborano possono utilizzare innovazioni tecnologiche senza aggiungere royalties. Non si può trascurare, quindi, il valore aggiunto (un fattore moltiplicativo) dal know-how acquisito e dalla conseguente *aumentata capacità* dell'industria italiana di collocare, su altri mercati, i propri prodotti.

Il terzo, ed ultimo aspetto, riguarda il training dei giovani ricercatori. Al CERN, ogni anno, svolgono la loro tesi di PhD circa 3'000 studenti. Non tutti continueranno a fare ricerca e, quindi, le conoscenze e competenze raggiunte a stretto contatto con il mondo della ricerca, spesso, vengono trasferite a realtà imprenditoriali esterne ad esso. E questo è un ulteriore valore aggiunto.

Se lo desiderate, confrontate i 7 G€ di LHC, in 15 anni, con l'economia criminale (Camorra, 'Ndrangheta, Cosa nostra, criminalità pugliese etc.) che, secondo stime comunque incomplete [30], ammonterebbe a 11 G€/anno (pari, nel 2016, all'1.7 % del PIL) oppure ai 15 G€ di spesa totale delle Olimpiadi di Londra del 2012 [31], senza citare le spese militari per le missioni di pace all'estero.

## L'IMPATTO SULL'ECONOMIA

Il rapporto stretto tra la fisica di base e le applicazioni tecniche, è da sempre riconosciuto come fonte di sviluppo ed innovazione.

La Società Italiana di Fisica (SIF), assieme ai principali enti di ricerca italiana, ha pubblicato nel 2014 un rapporto ("*L'impatto della fisica nell'economia italiana*") [32] che rappresenta un'analisi quantitativa –la prima nel suo genere– relativa all'impatto economico nel nostro paese dei settori industriali, aziendali e commerciali basati sulla fisica, non solo delle particelle elementari, e sulle tecnologie che ne derivano. Il periodo di riferimento va dal 2008 al 2011.

Il quadro che emerge mostra come i settori basati sulla fisica hanno dato un contributo considerevole all'economia italiana, producendo oltre 1,5 milioni di posti di lavoro nel 2011 (66% al nord, 19% al centro e 15% nel meridione) che costituiscono circa il 6% del totale in Italia (16 milioni e mezzo di posti di lavoro, 57% al nord, 20% al centro e 22% nel meridione) e circa 120 miliardi di Prodotto Interno Lordo (PIL), corrispondenti a più del 7% del totale.

Credo che emerga chiaramente, senza ombra di dubbio, la straordinaria importanza della ricerca di base, e l'ovvia influenza in quella applicata e competitiva, anche se mi sono limitato a mostrarla nella disciplina scientifica che mi è più familiare.

Non intendo aprire *cahiers de doléances* sui finanziamenti della ricerca nel nostro paese. Tutti gli studi, nazionali ed internazionali, indicano che la spesa in R&D del nostro paese, inferiore all'1.30% del PIL, è inferiore alla media europea (2,03%) la quale, a sua volta, è sensibilmente inferiore ai livelli della Corea del Sud (4.23 % del PIL) e del Giappone (3,29% del PIL) [33].

Ridurre le risorse finanziarie alla ricerca di base determina il progressivo impoverimento del bacino di conoscenze scientifiche in termini di giovani preparati e competenti. Se fra dieci anni raddoppiassimo i finanziamenti faremmo una cosa inutile: non avremmo più, infatti, ricercatori preparati per impiegare tali fondi con efficacia ed efficienza. La riduzione influenza anche la ricerca applicata e lo sviluppo competitivo che, richiedendo finanziamenti ingenti da un lato ed avendo margini di rischio elevati dall'altro, possono essere sovvenzionati solo dalle imprese private e, pertanto, essere condotte solo marginalmente nelle università e negli enti di ricerca. Ciò aggrava ulteriormente la situazione di un meridione dove non esistono realtà imprenditoriali ed industriali che dispongano di laboratori di ricerca adeguati allo scopo.

## UN PONTE DI PACE

I vantaggi culturali ed il ritorno economico non sono gli unici aspetti degni di rilievo.

Sicuramente quello scientifico è uno dei linguaggi più potenti per trasmettere messaggi di pace, secondo solo alla musica. Il modello attuale della Big Science, così come spero di esser riuscito a mostrare, rappresenta anche un modello di aggregazione e coesione di un gran numero di ricercatori e tecnici, provenienti da qualsiasi parte del mondo, in grado di riportare nei loro paesi d'origine i valori tipici della ricerca scientifica.

In un momento nel quale si dibatte molto sulla necessità di inclusione sociale e integrazione, menzionando a difesa delle proprie convinzioni e pregiudizi parole come “*ideali*”, “*valori*”, “*tradizioni*”, “*razza*” –spesso senza neanche conoscerne il vero significato– gli esempi che vi ho mostrato rappresentano da anni la riuscita di un progetto di reale unificazione collettivo. Al posto delle innumerevoli parole che “*escludono*” e delle pochissime che “*includono*”, la ricerca scientifica di base, organizzata nella Big Science, ha mostrato come sia possibile costruire comunità effettive. Se è vero ciò che diceva Ludwig Wittgenstein: «*i limiti del mio linguaggio significano i limiti del mio mondo*» quello della scienza di base è il linguaggio di cui non possiamo sicuramente fare a meno.

La Storia ci insegna che i fisici hanno contribuito in maniera esemplare al tentativo di bandire le armi nucleari e creare dei veri “*ponti di pace*” attraverso la ricerca.

Il CERN, ha contribuito significativamente a curare e guarire le ferite della seconda guerra mondiale ed è riuscito, nel periodo più “caldo” della guerra “fredda”, a far dialogare e lavorare assieme scienziati sovietici e occidentali. Non è l'unico esempio. Esistono, per fortuna, altre iniziative di rilievo.

Un esempio recente è il laboratorio sperimentale per la produzione di radiazione di sincrotrone SESAME (acronimo di *Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East*) [34] , inaugurato a metà del 2017. La facility, destinata alla ricerca scientifica, dista qualche decina di chilometri da Amman, in Giordania, in un territorio molto difficile e instabile. Il laboratorio è frutto di una collaborazione tra Bahrain, Cipro, Egitto, Iran, Israele, Giordania, Pakistan, Autorità palestinese e Turchia alla quale hanno contribuito anche paesi europei, tra i quali il nostro attraverso l'INFN, fornendo parte dei finanziamenti e delle competenze. E l'Italia ha un ruolo importante perché il Direttore Scientifico del progetto, anche qui, è un italiano.

Avrete compreso che, sin dall'inizio di questo intervento, mi proponevo come scopo quello di mostrare l'importanza della ricerca di base per lo sviluppo culturale, economico e sociale di tutte le nazioni.

Ho provato a farlo partendo da due importantissime scoperte scientifiche della fisica (il bosone di Higgs e le onde gravitazionali) nell'ambito delle cosiddette Big Sciences.

Mi auguro che il discorso sull'importanza della ricerca scientifica di base, non solo nella fisica ovviamente, non termini qui e continui anche al di fuori di questa sala.

Nel terminare, ringrazio tutti voi per l'attenzione e la pazienza accordatami.

## NOTE

- 1) La Big Science, ovviamente, non annovera solo la ricerca di base finanziata con denaro pubblico e/o finanziamenti privati. Essa può svilupparsi anche nella ricerca di base ed applicata nell'ambito di imprese multinazionali (Celera Genomics, ad esempio, nell'ambito del sequenziamento del genoma umano) nella ricerca in campo militare (come, ad esempio, nei laboratori statunitensi di Livermore, Los Alamos, etc..) e, infine, grazie alla passione di privati molto facoltosi, come è accaduto, appena pochi giorni fa, con il lancio del razzo della Tesla, il più potente mai costruito dall'uomo.
- 2) J. Robert Oppenheimer pronunciò nel 1947, commentando i due bombardamenti giapponesi di Hiroshima (6 agosto 1945) e Nagasaki (9 agosto 1945), la frase *“In un certo senso basilare che nessuna volgarità, umorismo o esagerazione possono dissolvere, i fisici hanno conosciuto il peccato; e questa è una conoscenza che non si può perdere”* alla 1947 Arthur D. Little Memorial Lecture, presso il Massachusetts Institute of Technology. Questi accadimenti hanno sicuramente assegnato alla parola *“nucleare”* un significato terribile, pericoloso, simbiotico con le parole *“morte”* e *“distruzione”*. La Fisica, a partire da quei tristi giorni, comincia ad essere percepita come qualcosa di pericoloso. Ci sono volute decine di anni per scrollarci di dosso tale vergogna anche se, in seguito, l'impiego civile della stessa energia nucleare –con tutti i limiti del caso– ha prodotto sviluppo e benessere. Ma questa è un'altra storia. [<https://doi.org/10.1080/00963402.1948.11460172>]
- 3) L'Unione Sovietica fu la prima ad inviare un satellite attorno alla Terra (Sputnik, 4 ottobre 1957) dando il via alla corsa per la conquista dello spazio che caratterizzò anche buona parte della cosiddetta *Guerra Fredda* tra USA e URSS. Fu la stessa URSS ad inviare il primo essere vivente (la cagnetta Kudrjavka, conosciuta come Laika) il 3 novembre del 1957 ed il primo astronauta (Jurij Alekseevič Gagarin), in un'orbita attorno alla Terra, il 12 aprile 1961. Per pari opportunità Valentina Vladimirovna Tereškova fu, poi, la prima donna a raggiungere l'orbita spaziale per tre interi giorni il 16 giugno 1963. Gli Stati Uniti, che inseguivano il predominio russo, portarono Neil Armstrong e Buzz Aldrin sul suolo lunare con la missione Apollo 11, il 21 luglio 1969. L'Unione Sovietica non riuscì ad emulare l'impresa e lo stesso programma spaziale americano ebbe fine nel 1972 con ben 12 uomini che misero piede sul suolo lunare. Il programma Apollo rappresentò uno dei più dispendiosi programmi scientifici americani e coinvolse migliaia di persone.
- 4) ITER (acronimo di *International Thermonuclear Experimental Reactor*) nacque da un'idea di un gruppo di nazioni industrializzate con lo scopo di sviluppare energia di fusione per scopi pacifici (mediante la costruzione di una macchina *tokamak* per l'esperimento di fusione mediante confinamento magnetico più avanzato al mondo) nel 1985. Il progetto definitivo è stato approvato dagli stati membri nel 2001 e sarà realizzato in Francia, a Saint Paul-lez-Durance. Al progetto internazionale, lavorano oltre 2000 ricercatori appartenenti agli stati membri: Cina, Unione Europea, India, Giappone, Corea, Russia e Stati Uniti. C'è, ovviamente, anche una partecipazione qualificata italiana.
- 5) Le scienze della vita, confinate fino agli anni Ottanta in laboratori relativamente piccoli, sono approdate alla Big Science con l'Human Genome Program (*Progetto genoma umano*), che tra il 1990 e il 2003 ha permesso di realizzare la mappa completa del patrimonio genetico umano, consistente in circa 3 miliardi di informazioni elementari e 30.000 geni. L'impresa è stata realizzata indipendentemente da un consorzio pubblico internazionale (International Human Genome sequencing consortium) e dalla società privata statunitense Celera Genomics.
- 6) A.V., *“Frascati Manual 2015 - Guidelines for collecting and reporting data on research and experimental development”*. Il Manuale di Frascati è un documento che stabilisce la metodologia per raccogliere e utilizzare dati sulla ricerca e sviluppo nei paesi membri dell'OCSE (*Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico*). La ricerca, come definita nel testo, è suddivisa essenzialmente in quattro categorie: (1) *La Ricerca di base pura* è una ricerca condotta per il progresso della conoscenza, senza perseguire benefici economici o sociali a lungo termine e senza sforzi positivi per applicare i risultati a problemi pratici o per trasferire i risultati ai settori responsabili della sua applicazione. (2) *La Ricerca di base* è un'attività sperimentale o teorica intrapresa principalmente per acquisire nuove conoscenze dei fondamenti sottostanti di fenomeni e fatti osservabili, senza alcuna particolare applicazione o impiego in prospettiva. (3) *La Ricerca applicata* è un'indagine originale intrapresa per acquisire nuove conoscenze. Tuttavia, è diretta principalmente verso uno scopo o un obiettivo pratico specifico. (4) *Lo Sviluppo sperimentale* è un'attività sistematica, basata sulle conoscenze esistenti acquisite dalla ricerca e/o dalla sperimentazione pratica, diretta alla produzione di nuovi materiali, prodotti o dispositivi;

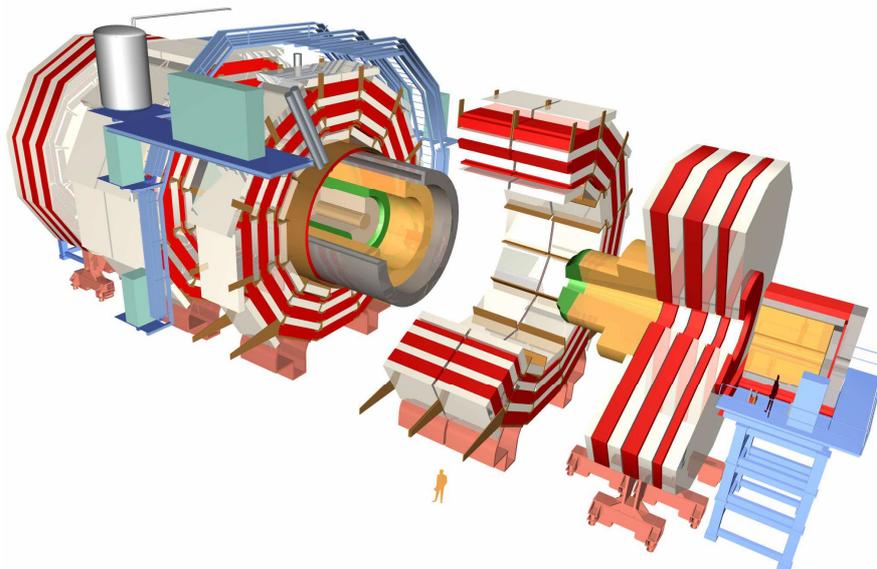
all'installazione di nuovi processi, sistemi e servizi; o a migliorare sostanzialmente quelli già prodotti o installati.

- 7) Pietro Greco, *“Einstein e il ciabattino. Dizionario asimmetrico dei concetti scientifici di interesse filosofico”*, Editori Riuniti, 2002, alla voce “scienza”, pg. 466-471.
- 8) Il premio Nobel per la fisica del 2013 è stato assegnato al fisico britannico Peter Ware Higgs, e al fisico belga François Englert. Sarebbe stato insignito anche un altro fisico belga, Robert Brout, se non fosse purtroppo scomparso poco prima della scoperta. La motivazione dell'Accademia Reale Svedese delle Scienze era *“for the theoretical discovery of a mechanism that contributes to our understanding of the origin of mass of subatomic particles, and which recently was confirmed through the discovery of the predicted fundamental particle, by the ATLAS and CMS experiments at CERN's Large Hadron Collider”* e cita esplicitamente le collaborazioni ATLAS e CMS che hanno permesso di individuare sperimentalmente il bosone di Higgs, prova dell'esistenza del campo di Brout–Englert–Higgs responsabile della massa delle particelle elementari. Il premio Nobel per la fisica del 2017 è stato assegnato a Rainer Weiss, Barry C. Barish e Kip S. Thorne per il loro contributo alla realizzazione all'osservatorio statunitense LIGO, che fa parte della grande collaborazione LIGO-VIRGO –con oltre un migliaio di ricercatori, tra i quali più di un centinaio italiani– che ha permesso la prima rilevazione diretta delle onde gravitazionali il 14 settembre 2015.
- 9) Il 4 luglio 2011, nel corso di un seminario congiunto, le due grandi collaborazioni CMS ed ATLAS hanno mostrato i risultati delle analisi compiute alla ricerca del bosone di Higgs, la particella proposta nel 1964 da Peter Higgs per spiegare perché tutte le particelle elementari che conosciamo hanno una massa, e tra loro differente. L'ultimo tassello che mancava al *Modello Standard*, la teoria che descrive tutte le particelle elementari di cui è costituito l'universo e le loro interazioni, era proprio questa sfuggente particella, della quale ben poco si conosceva. Nell'Auditorium del CERN di Ginevra, dopo la raccolta dei dati sperimentali del 2011 e della primavera 2012, che hanno consentito di raddoppiare l'enorme quantità di dati sperimentali a disposizione, la leggera anomalia mostrata nel dicembre 2011 (che rappresentava un'indicazione della presenza di una nuova particella ma non la certezza di averla effettivamente “osservata”) è divenuta ciò che in Fisica chiamiamo una *“strong evidence”*. Entrambe gli esperimenti hanno mostrato una chiara evidenza di una nuova particella con massa tra 125 e 126 GeV che aveva tutte le caratteristiche del bosone di Higgs. Per averne la certezza assoluta, e parlare di *“discovery”* occorrerà aspettare il 6 marzo 2013, nel corso di una conferenza tenuta a La Thuile. A queste ricerche, di straordinaria importanza nella comprensione della natura che ci circonda, partecipano anche ricercatori dell'Università degli Studi della Basilicata, appartenenti al gruppo sperimentale dell'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) che alcuni anni fa ha preso parte alla realizzazione dell'apparato sperimentale CMS. Il gruppo di ricercatori ha preso parte alla realizzazione di uno dei sotto sistemi di CMS, il rivelatore di muoni (particelle simili all'elettrone ma circa 200 volte più “pesanti”) la cui identificazione è fondamentale in gran parte delle ricerche effettuate tra cui quella più importante del bosone di Higgs. Lo stesso gruppo, oggi, partecipa attivamente all'analisi dei copiosi dati sperimentali raccolti. L'esperimento CMS è uno dei quattro esperimenti installati sulla macchina acceleratrice LHC (*“Large Hadron Collider”*, il grande acceleratore e collisore di protoni) del CERN (Organizzazione Europea per la Ricerca Nucleare, storicamente *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) di Ginevra, localizzato sul confine franco–svizzero. CMS, assieme all'apparato ATLAS suo antagonista, è stato progettato e costruito negli ultimi venticinque anni, per osservare i risultati delle collisioni tra fasci di protoni che avvengono nell'acceleratore LHC. In tali collisioni l'energia viene trasformata in materia, sotto forma di centinaia o anche migliaia di particelle, e compito del rivelatore CMS è quello di osservare, misurare e registrare tutte le particelle prodotte per ricostruire preziose informazioni sulle interazioni fondamentali che ne regolano il comportamento e che, in buona approssimazione, ripropongono le condizioni presenti dei primi istanti di vita dell'Universo. Per fare ciò è stato necessario progettare e costruire un rivelatore molto complesso. La sua realizzazione ha coinvolto una collaborazione internazionale di più di 2000 ricercatori (fisici, ingegneri, tecnologi) provenienti da oltre 170 istituzioni di ricerca (università, enti di ricerca e laboratori) di 40 Paesi. Il Coordinatore dell'esperimento, l'americano Joe Incandela, nel sintetizzare quel giorno il risultato usò la seguente espressione: *“We have observed a new boson with a mass of  $125.3 \pm 0.6$  GeV at 4.9 sigma significance. Now we need to show it has all the properties of a Higgs boson”*. La lettura della prima parte di questo passo è la seguente: *“abbiamo misurato le caratteristiche di una nuova particella appartenente alla famiglia dei bosoni, con una massa di 125.3 GeV e con un'incertezza di più o meno 0.6 GeV, con una probabilità che sia un errore dovuto al caso inferiore ad una parte su due milioni”*. Evito di spiegare cosa sia un bosone. Dirò solo che la Fisica è una “scienza sperimentale” e come tale scienze è basata sul metodo scientifico; ogni “scoperta”, per essere rivendicata, deve fornire certezze perché l'intera comunità scientifica l'accetti. Non si può dire di aver scoperto qualcosa, in questo caso una nuova particella attraverso la misurazione delle sue caratteristiche, se non si riesce a

garantire che l'errore che si potrebbe aver fatto è molto, molto piccolo. Ciò è espresso da quel 4.9 che significa, in maniera rozza, che la probabilità di aver sbagliato per pura casualità è un po' meno di una parte su due milioni, un numero davvero molto piccolo.

- 10) La prima delle interazioni identificate dall'uomo –le chiamiamo anche “forze”– è la *forza di gravità* se non altro perché la sperimentiamo già appena nati, quando nel perdere l'equilibrio cadiamo per terra. In seguito abbiamo scoperto altre forze: quella elettrica e magnetica (interazione elettromagnetica), l'interazione nucleare forte e l'interazione nucleare debole. La gravità si contraddistingue, però, per l'essere estremamente debole a livello microscopico. Non regge come intensità, infatti, al confronto delle altre forze. Agendo su grandi distanze, invece, essa regola il moto dei pianeti e delle galassie, governa l'infinitamente grande e, parzialmente, determina l'evoluzione di tutto l'Universo. Il 14 settembre 2015, gli apparati sperimentali della Collaborazione scientifica internazionale LIGO–VIRGO, nella quale sono presenti numerosissimi ricercatori italiani, hanno raccolto il debole segnale che ha confermato l'esistenza delle onde gravitazionali, predette nel 1916 da quello straordinario scienziato e visionario che fu Albert Einstein. I due apparati statunitensi di Livingston e Hanford hanno visto l'ultimo segnale, l'ultimo grido disperato, provocato da due buchi neri che, spiraleggiando uno attorno all'altro, si sono alla fine fusi in un unico corpo. Questo incontro “ravvicinato” è avvenuto un po' meno di un miliardo e mezzo di anni fa quando sulla terra facevano la loro comparsa le prime cellule in grado di impiegare l'ossigeno per la propria sopravvivenza. È, quindi, come se avessimo aperto una finestra nel passato; un passato che ci può rivelare tanti misteri e aiutarci a capire non solo l'universo nel quale viviamo, ma anche le nostre lontanissime origini. Sono necessarie grandissime masse per generare onde gravitazionali per le quali ci sia una minima probabilità di rivelazione interferometrica (i due buchi neri, come quelli alla base del fenomeno rivelato, hanno rispettivamente masse 29 e 36 volte superiori a quella del nostro sole). Sono, oltretutto, necessari apparati grandi, complessi e ultra-sensibili, affinché sia possibile misurare le impercettibili variazioni di lunghezza di un qualunque oggetto sul nostro pianeta provocate, appunto, dal passaggio di una perturbazione gravitazionale nel tessuto Spazio-temporale dell'universo. Per capire di cosa siamo parlando, ci basti pensare che l'esperimento deve poter misurare una variazione di lunghezza pari a un miliardesimo del diametro di un atomo: praticamente impossibile a concepirsi. È come se volessimo ascoltare il rumore di una piuma che cade sul pavimento di una piazza dove migliaia di ragazzi ballano e cantano ascoltando un concerto rock. Da allora, la collaborazione internazionale LIGO–VIRGO –oltre un migliaio di ricercatori– ha registrato altre 4 onde gravitazionali generate dalla coalescenza di due buchi neri. Infine, il 17 agosto 2017 è stata identificata per la prima volta un'onda gravitazionale differente: ovvero, originata dal collasso di un sistema binario di stelle di neutroni circa 130 milioni di anni fa. L'importanza di quest'ultima misura –la prima in assoluto– risiede nel fatto che, a differenza del collasso di due buchi neri, circa due secondi dopo la rivelazione dell'onda, gli osservatori orbitali “Fermi” della NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e “Integral” dell'ESA (*European Space Agency*) hanno captato un lampo di raggi gamma proveniente dalla medesima direzione. Nelle ore e nei giorni successivi, grazie alla precisione raggiunta nel localizzare la sorgente, la radiazione elettromagnetica generata nel corso dello stesso evento cosmico è stata osservata da altri 70 telescopi e radiotelescopi, sia terrestri che satellitari, in varie finestre spettrali (ottiche, raggi X, radiofrequenze). È quindi iniziata quella che chiamiamo “*Astronomia Multi-messaggero*”.
- 11) Oltre al problema più grande, quello di collegare la Relatività Generale e la Meccanica Quantistica in un'unica teoria (incluso la più debole delle interazioni, la gravità) ci sono almeno quattro evidenze sperimentali per le quali non abbiamo ancora una spiegazione. (1) Il Modello Standard prevede che il neutrino, una particella elettricamente neutra che interagisce pochissimo –quasi per niente– con la materia abbia massa nulla. Invece, alcune sperimentazioni recenti (oscillazione del neutrino) recenti hanno dimostrato che la massa è piccola ma diversa da zero. (2) Il Modello Standard prevede la simmetria tra materia e antimateria (prodotte in egual misura all'origine del Big bang) mentre l'universo che conosciamo è fatto solo di materia. Che fine ha, dunque, fatto l'antimateria? (3) Il moto e la velocità con cui ruotano stelle e galassie presuppone che ci sia materia (la cosiddetta “materia oscura”) che non riusciamo a rivelare con i nostri strumenti. Non sappiamo di cosa essa sia costituita. (4) La velocità di espansione dell'universo aumenta, anziché diminuire come ci si aspetterebbe. Non conosciamo quale forma di energia (la chiamiamo “energia oscura” e sappiamo che agisce in verso opposto alla forza gravitazionale) ne acceleri il moto.

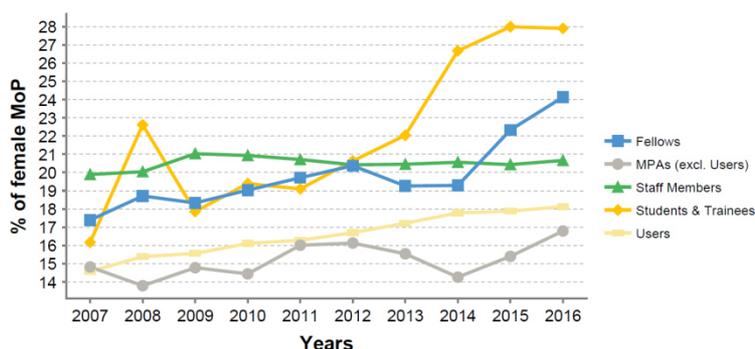
- 12) Apparato sperimentale CMS (*Compact Muon Solenoid*). Notare il raffronto con le dimensioni umane in basso al centro.



- 13) Vannevar Bush, “*Science: The Endless Frontier. A Report to the President on a Program for Postwar Scientific Research*”, 1945 (richiesto il 17 novembre 1944 dal presidente degli Stati Uniti Franklin Delano Roosevelt ma indirizzato al presidente Harry Truman, il 25 luglio 1945, poiché Roosevelt, nel frattempo, era venuto a mancare); tra le altre cose nel rapporto c’era una frase importante ancor’oggi: « ... *No one can select from the bottom those who will be the leaders at the top ...* » (“*E’ impossibile selezionare dal basso le future personalità scientifiche*”).

- 14) Gli italiani, inoltre, sono anche particolarmente bravi e capaci anche in ruoli di rilievo istituzionali. Nel 2012, quando fu annunciata la scoperta del bosone di Higgs, gli spoksmen (i “portavoce”, rappresentanti) di 5 dei 6 esperimenti su LHC (i quattro più grandi più ulteriori due di dimensioni più ridotte) erano ricercatori italiani (Guido Tonelli per CMS, Fabiola Gianotti per ATLAS, Paolo Giubellino per ALICE, Pierluigi Campana per LHCb e Simone Giani per TOTEM). Anche il Direttore della Ricerca del CERN era italiano (Sergio Bertolucci). Dopo Edoardo Amaldi (che nel 1954 fu Segretario Generale) sono stati Direttori Generali del CERN altri illustri italiani: il premio Nobel Carlo Rubbia (1989–1993) ed il fisico teorico Luciano Maiani (1999–2003). In questo momento ricopre la carica di Direttore Generale del CERN la stessa Fabiola Gianotti.

- 15) CERN, “*CERN Personnel Statistics 2016*”, Report CERN/TREF/439 del 4 maggio 2017. Nella figura seguente è mostrata l’evoluzione della percentuale di personale femminile negli ultimi 10 anni. La curve “*Students & Trainees*” e “*Fellows*”, che non contemplano il personale amministrativo, mostrano un significativo aumento negli ultimi 4-5 anni della componente femminile.



- 16) E’ indicativa la storiella che racconta della visita di William Gladstone, Chancellor of the Exchequer (Cancelliere dello Scacchiere con responsabilità sulle finanze) della regina Vittoria, al laboratorio di Michael Faraday (lo scienziato britannico che contribuì all’elettromagnetismo all’inizio XIX secolo). Mentre Faraday mostrava a Gladstone alcuni risultati dei suoi studi, questi domandò «*Interessante, ma qual è il suo uso pratico?*». Faraday gli rispose con esemplare onestà e preveggenza: «*Al momento non saprei, Sir, ma è assai probabile che in futuro ci metterete una tassa sopra!*».

- 17) Giacomo Cuttone, Direttore dei Laboratori Nazionali del Sud dell’INFN, comunicazione privata

- 18) La metodica dell'impiego in protonterapia del boro sperimentata, a cui partecipano ricercatori italiani dell'INFN), è chiamata PBCT (*Proton Boron Capture Therapy*). Il boro è presente in natura due isotopi stabili:  $^{11}\text{B}$ , con percentuale del 80,1%, e  $^{10}\text{B}$ , con percentuale del 19,9%. La reazione nucleare  $p+^{11}\text{B}$ , che consiste nel colpire l'isotopo con i protoni, può essere impiegata per aumentare l'efficacia della terapia. In pratica s'iniettano molecole contenenti nuclei di  $^{11}\text{B}$  i quali vengono, successivamente, bombardati da protoni e producono 3 particelle alfa (nuclei di He) con energia di 4 MeV che rilasciano in zona la dose producendo un enorme danno biologico. L'efficacia biologica della mortalità cellulare, misurata sperimentalmente, è superiore del 20% (rispetto alla sola protonterapia. Vedi G.A.P. Cirrone et al., “*First experimental proof of Proton Boron Capture Therapy (PBCT) to enhance protontherapy effectiveness*”, Scientific Report, 18 gennaio 2018, <https://www.nature.com/articles/s41598-018-19258-5.pdf>
- 19) AIOM (Associazione Italiana di Oncologia Medica), “*I numeri del cancro in Italia*” ([http://www.registri-tumori.it/PDF/AIOM2016/I\\_numeri\\_del\\_cancro\\_2016.pdf](http://www.registri-tumori.it/PDF/AIOM2016/I_numeri_del_cancro_2016.pdf))
- 20) Paolo Strolin, “*La vita segreta dei vulcani, usando la radiografia a muoni*”, Science in School 2013 (<http://www.scienceinschool.org/it/2013/issue27/muons>)
- 21) “*Muons reveal the interior of volcanoes*”, CERN Bulletin, 2010 (<http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2010/51/News%20Articles/1312698>)
- 22) K. Morishima et al, “*Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons*”, Nature volume 552, pages 386–390
- 23) G. Saracino et al., “*Imaging of underground cavities with cosmic-ray muons from observations at Mt. Echia (Naples)*”, Nature Scientific Report, 26 aprile 2017
- 24) M. Benettoni et al., “*Noise reduction in muon tomography for detecting high density objects*”, (<https://arxiv.org/abs/1307.6093>)
- 25) P. Checchia, “*Review of possible applications of cosmic muon tomography*”, (<http://www.pd.infn.it/~checchia/Siena2016.pdf>)
- 26) L. Maiani e R. Bassoli, “*A caccia del bosone di Higgs*”, Mondadori Università, 2013
- 27) ISTAT, Report su “*Ricerca e Sviluppo in Italia - Anni 2015-2017*”, 17 novembre 2017: «*Nel 2015 la spesa per R&S intra-muros sostenuta da imprese, istituzioni pubbliche, istituzioni private non profit e università è in aumento rispetto al 2014 in termini sia nominali (+1,7%) sia reali (+0,9%). L'incidenza percentuale della spesa per R&S intra-muros sul Pil (Prodotto interno lordo) è pari all'1,34% e risulta stabile rispetto all'anno precedente. In confronto al 2014 la spesa per R&S cresce nel settore privato (+4,4% per le imprese, +6,8% per le istituzioni private non profit) mentre diminuisce nelle istituzioni pubbliche (-1,7%) e nelle università (-2,8%).*»

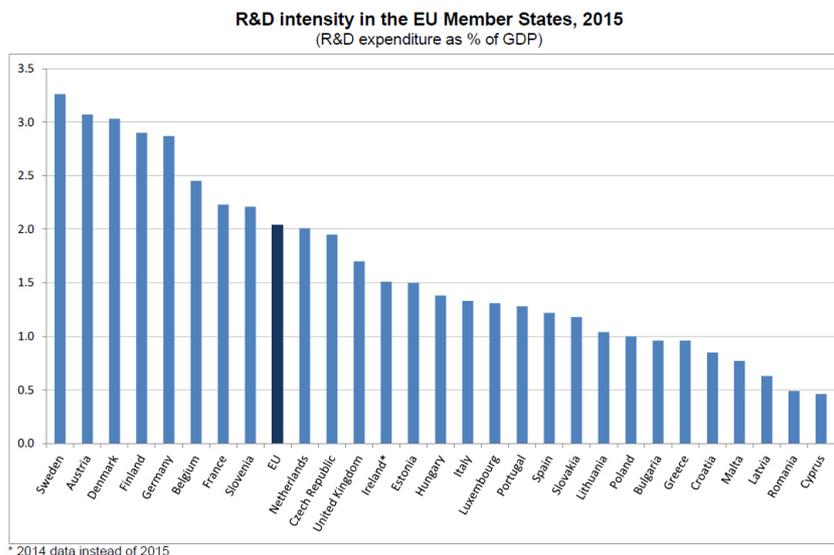
SPESA R&S INTRA-MUROS. Anno 2015, valori in migliaia di euro e variazioni percentuali.

SETTORE ESECUTORE	2015 (valori assoluti)	Variazioni % rispetto al 2014
Imprese	12.886.403	+4,4%
Istituzioni pubbliche	2.910.618	-1,7%
Università	5.653.047	-2,8%
Istituzioni private non profit	706.890	+6,8%
<b>Totale</b>	<b>22.156.958</b>	<b>+1,7%</b>
In % del PIL	1,34%	0,0

- 28) M. Florio et al. “*Forecasting the Socio-Economic Impact of the Large Hadron Collider: a Cost-Benefit Analysis to 2025 and Beyond*”, Techn. For. and Soc. Change 112 (2016) 38. È sicuramente operazione complessa quella di valutare la ricerca (benché alcuni tentino di ridurre questa cosa a mero ed irragionevole “conteggio” di parametri numerici, spesso inconsistenti o artefatti ma facilmente inseribili in algoritmi di successo) ed ancor più i suoi benefici. La ricerca di base è un'attività che produce risultati non predicibili, in tempi non prevedibili e, spesso, ricadute non materiali bensì immateriali, come il software o i servizi. Ci hanno provato, per LHC, alcuni ricercatori italiani sviluppando un'analisi costi-benefici molto interessante. Secondo questo studio, tenendo conto dei costi e dei benefici categorizzati, dal 1993 –anno di inizio della costruzione dell'acceleratore– al 2025 –anno nel quale potrebbe iniziare, ipoteticamente, il de-commissioning– il guadagno netto, senza includere i benefici

non valutabili delle scoperte scientifiche, è di circa 3 G€.

- 29) CERN ILO (Industrial Liaison Officer) for Italy, Newsletter 1 del 2017, <https://ilo.infn.it/>
- 30) A. Bellotto, “*Oltre Gomorra: i numeri della camorra in mappe e infografiche*” Lettera 43
- 31) <https://www.firstonline.info/olimpiadi-2016-quanto-costano-i-giochi-di-rio-ecco-le-cifre-complete/>
- 32) Deloitte, “*The impact of Physics on the Italian economy*”,  
[[https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/report\\_report\\_2014/SIF-Final-Report.pdf](https://www.sif.it/static/SIF/resources/public/files/report_report_2014/SIF-Final-Report.pdf)]
- 33) Eurostat, “*First estimates of Research & Development expenditure (2015)*”, Newsrelease n. 238/2016 del 30 novembre 2016



- 34) SESAME (acronimo di *Synchrotron light for Experimental Science and Applications in the Middle East*) è un laboratorio di ricerca multidisciplinare internazionale basato su una sorgente di luce di sincrotrone, che consentirà agli scienziati della Regione, ma non solo, di accedere a un' infrastruttura di ricerca di livello mondiale per svolgere le proprie attività. È basato su un acceleratore di elettroni (sincrotrone) che producono una radiazione particolare, applicabile ai campi più disparati dello studio della materia: atomi isolati, molecole, nano strutture, sistemi viventi, etc. Tale radiazione dà un'informazione sulla struttura fisica della materia con una precisione di milionesimi di metro, o per particolari applicazioni anche di un ulteriore fattore mille, e dà anche informazioni sui legami chimici a livello molecolare. Siccome le applicazioni sono molto variegata, dalla fisica fondamentale, alla chimica, alla biologia, SESAME è un incontro di discipline diverse, e persone con background completamente diversi. Dal 2013 il Governo italiano ha ritenuto di contribuire, attraverso il Ministero per l'Istruzione, l'Università e la Ricerca (MIUR), al progetto SESAME, sottolineando gli aspetti di dialogo inter-governativo. Così, il decreto di ripartizione dei fondi per gli enti di ricerca di quell'anno destinava un milione di euro al progetto con la seguente motivazione: «*L'Italia, tramite l'INFN parteciperà alla costruzione e messa in opera del sincrotrone SESAME nel Regno di Giordania. Il finanziamento dell'anno 2013 servirà a fornire, per lo più in kind e con aiuto di personale qualificato, elementi dell'acceleratore. Il sincrotrone è un progetto che ha un valore che trascende la scienza, pur non trascurandola, essendo una collaborazione che vede la presenza di molti paesi del Medio Oriente, Israele incluso*». Dal punto di vista organizzativo, SESAME ricalca l'organizzazione del CERN di Ginevra, e dal CERN mutua la visione di laboratorio che coglie la scienza come un'opportunità per contribuire al dialogo tra ricercatori provenienti da nazioni che in altri ambiti hanno difficoltà a incontrarsi su progetti comuni. SESAME darà fantastiche opportunità per la ricerca multidisciplinare nella Regione del MENA (Middle East and North Africa, l'ampia regione estesa dal Marocco all'Iran); permetterà agli scienziati di collaborare, dando al territorio anche una concreta possibilità di sviluppo. Grazie alla sua vicinanza a molti dei tesori archeologici del mondo, l'impianto offrirà anche innumerevoli opportunità per lo studio del patrimonio culturale della regione. Durante la primavera del 2017 si sono raggiunte le condizioni prossime a quelle di esercizio (energia di 2,5 GeV e almeno 35 mA di corrente). Anche in questo caso, le competenze italiane nel campo della ricerca e nella conduzione di importanti progetti scientifici sono state riconosciute a livello internazionale: il Direttore Scientifico del progetto è Giorgio Paolucci, fisico italiano “in prestito” dal laboratorio Elettra Sincrotrone Trieste.