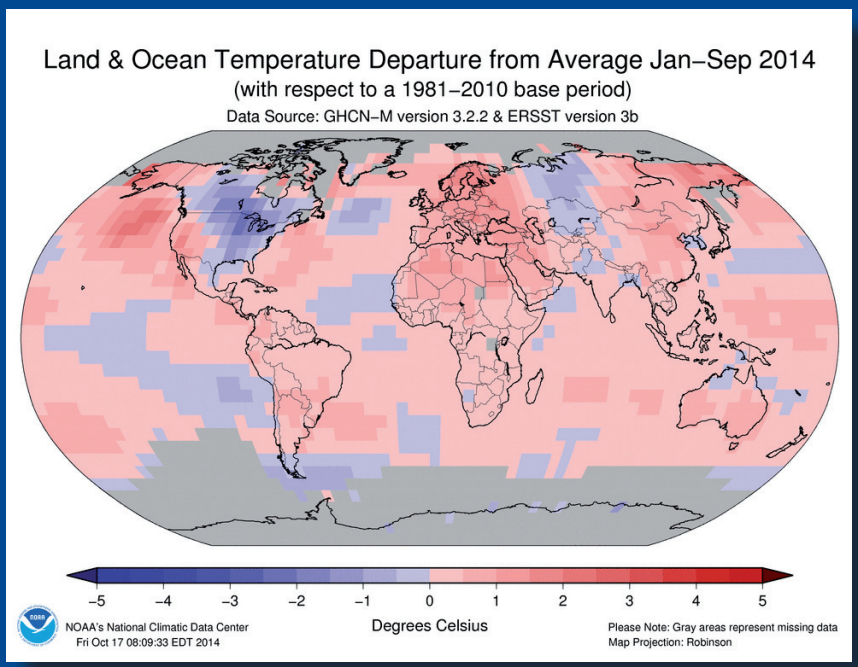
ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Analysis - Riv. Quadrimestrale - Anno XVIII n. 1 gennaio/aprile 2016 - Poste Italiane S.p.A. - Sped. in Abb. Poste DL 353/2003
(conv. in Legge 27/02/2004 n. 46 Art. 1, Comma 1) - CN/BO - Pàtron Editore - Via Badini 12 - Quarto Inferiore - 40057 Granarolo dell'Emilia (Bo)



1
2016

Sulla fuga dei cervelli

COP 21, l'accordo mondiale sul clima

Disseminare la scienza nella società dei "complotti"

Le comunità scientifiche della Big Science

ISSN 1591-0695

Pàtron Editore

ANALYSIS

Rivista di cultura e politica scientifica

Anno XVIII - N. 1/2016

SOMMARIO

	Presentazione	p. 3
Maria Cristina Facchini, Susanna Corti, Federico Fierli, Paolo Bonasoni, Sandro Fuzzi	*COP21, l'accordo mondiale sul clima*	» 5
Monica Di Fiore	*Disseminare la scienza nella società dei "complotti"*	» 8
Toni Baroncelli, Roberto Chierici	*Le comunità scientifiche della Big Science*	» 13
Franco Pavese	*Sulla fuga dei cervelli*	» 29

Direttore
Toni Baroncelli

Comitato di Redazione
Giovanni Dal Monte, Gianni Gullà, Roberto Palaia,
Emanuela Reale, Laura Teodori

Segreteria
Marta Cascarano, Livia Steve
e-mail: marta.cascarano@gmail.com
marta.cascarano@analysis-online.net

Internet: www.analysis-online.net International Standard Serial Number: ISSN 1591-0695

Direzione e Redazione: presso ANPRI

Gli autori degli articoli sono responsabili delle loro opinioni.
È obbligatorio citare la rivista in caso di riferimento al materiale pubblicato.

Periodico trimestrale di proprietà dell'ANPRI, Associazione Nazionale Professionale per la Ricerca, aderente alla CIDA, Confederazione Italiana Dirigenti e Alte professionalità, Funzione Pubblica Via Tortona, 16 00183 Roma Tel. 06.7012656-Fax 06.7012666 e-mail: anpri@anpri.it Internet: www.anpri.it

Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 253/99 del 07.06.1999

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Roma N. 465/94 del 17.10.1994

Precedente Autorizzazione del Tribunale di Torino N. 4132 del 24.01.1990

Stampa: LI.PE., Litografia Persicetana, S. Giovanni in Persiceto, Bologna, per conto della Pàtron Editore.

PRESENTAZIONE

Riuscire, dopo qualche anno un po' in ombra, a tornare ad una presenza fisicamente rinnovata, graficamente nuova, meglio organizzata, è per noi motivo di grande soddisfazione e corona uno sforzo umano, innanzitutto ma anche economico, da parte di tanti. Ma si torna alla carta con la stesso impegno di sempre, con la cauta speranza di un rinnovato metabolismo del mondo della ricerca e con una voce indipendente, autorevole, critica senza essere strillata. Grazie a tutti quelli che avranno voglia di leggerci e condividere con noi questa bellissima avventura.

La politica della ricerca è nel DNA di *Analysis* e, in questa importante occasione, abbiamo voluto rappresentare questo impegno consolidato allegando a questo numero il supplemento, che propone gli autorevoli contributi alla tavola rotonda "*Il futuro della ricerca dopo la Risoluzione della VII Commissione del Senato*" tenutasi il 20 aprile 2015 nella giornata di apertura del IX Congresso ANPRI.

La lettura/rilettura ed il confronto con quanto si è concretizzato in circa un anno (L. 124/2015, art. 13) consente di constatare che il "*Cronoprogramma per lo stato giuridico dei ricercatori e tecnologi degli enti pubblici di ricerca*" ha fatto qualche importante passo in avanti, ma anche che gli obiettivi indicati nella *Risoluzione della VII Commissione del Senato* non sono ancora completamente definiti. Auspichiamo quindi che questa lettura/rilettura contribuisca a stimolare ulteriori sollecitazioni e riflessioni per rendere compiuta l'*opera*.

Le luci ed ombre del trattato di Parigi sul clima in "*COP21*, *l'accordo mondiale sul clima*", di **Maria Cristina Facchini** ed altri colleghi. Sebbene il tasso di crescita del CO_2 in Italia abbia subito una riduzione di quasi il 20% negli ultimi 30 anni, a livello globale il rilascio di CO_2 non solo aumenta ma addirittura accelera. Oggi una larghissima comunità mondiale riconosce la necessità di contrastare subito ed efficacemente i cambiamenti climatici, forse l'aspetto più positivo di questo accordo. Ma fa da contraltare la volontarietà delle misure di contenimento e le modalità di controllo "*un po' vaghe*". Tre sono gli importanti aspetti: "*l'impegno a contrastare il riscaldamento del clima può essere solamente globale*; *... i costi della mitigazione sono inferiori che nel caso la temperatura del pianeta ecceda i limiti fissati*; *possediamo già le tecnologie per ridurre il riscaldamento del clima ... che può essere visto come un'opportunità di sviluppo.*" Il decisivo ruolo degli scienziati in questo quadro consiste nella comprensione dei meccanismi di cambiamento del clima e nella valutazione dell'impatto delle misure proposte. "*Il problema del cambiamento del clima è IL PROBLEMA del nostro secolo*" e la soluzione passa da politiche di mitigazione e adattamento e il potenziamento della ricerca scientifica in questo settore.

La comunicazione della scienza ai pubblici non specialistici è al centro di "*Disseminare la scienza nella società dei complotti*" di **Monica Di Fiore**. La cronaca, dalla carne cancerogena al metodo Stamina, al terremoto dell'Aquila ci dice che in questo rapporto "*qualcosa si è rotto*" anche in casi mediaticamente efficaci. A chi va iscritta le responsabilità di tutto ciò? Una parte va ad un giornalismo scientifico non sempre all'altezza della complessità delle cose da raccontare; un'altra parte va alla comunità dei ricercatori, a volte non abbastanza "*umile*" da "*riconoscere il ruolo strategico della società civile come interlocutrice*". E, ancora, il grande pubblico e i decisori politici ai quali manca la necessaria preparazione tecnica per apprezzare in pieno alcuni argomenti tecnici. Già negli anni 70 Jerome Ravetz sosteneva che la comunità scientifica identifica "*la propria missione con il profitto*, *il mercato*, *la competitività e la crescita*", dimenticando che i tempi lunghi tra una scoperta scientifica e la sua ricaduta rischiano di generare sfiducia nelle capacità della scienza. Ovunque sia "*il baricentro*" delle responsabilità, tutti gli attori di questo rapporto devono

aver chiara l'importanza centrale di questo scambio di conoscenza per l'accettazione della scienza da parte del grande pubblico. Questo aspetto è al centro del programma *Horizon 2020* con il quale la UE vuole costruire "*attraverso un sistema di consultazioni pubbliche ... una visione comune della società futura*". Il gap va colmato e lo scienziato deve trovare un linguaggio che, senza sensazionalismo, proponga una rappresentazione della scienza che non sia "*un parere su tanti*" ma "*superiorità oggettiva del dato di realtà*". Lo scienziato deve imparare a parlare non solo ai "*pari*" ma anche ai media, impreparati a cogliere la complessità del reale. In questo quadro il Web ha un ruolo centrale. Rende stupidi? Contiene tutti gli strumenti "*per una cultura neutrale e una cittadinanza consapevole*"? Il Web uniforma tutti i rapporti e rappresenta una discontinuità, quasi rottura, nella comunicazione tra gli scienziati ed il grande pubblico. La situazione italiana è paradigmatica di questa tendenza e si manifesta nella riduzione del numero di iscritti alle facoltà scientifiche, nei finanziamenti nella ricerca, nel mercato del lavoro, nella scarsa propensione all'innovazione delle imprese. Tutto questo crea un circolo vizioso in cui il giudizio sociale viene compresso "*in eccessive esemplificazioni o malevole interpretazioni*, *a enfatizzare gli eccessi e le distorsioni*" frutto apparente di una "*ferocia di delegittimazione*" che travolge molti aspetti della vita pubblica, e coinvolge anche la scienza responsabile di cambiamenti troppo rapidi, di problemi ambientali seppure la sola che possa dirci il posto dell'uomo nella natura. "*L'unico modo per contrastarla è prepararsi a comunicare la scienza a una platea culturalmente impreparata e psicologicamente predisposta alla critica più radicale*".

Con "*Big Science*" si intende quella parte della ricerca di base che, spinta dalla necessità di studiare fenomeni legati alla natura più intima della materia o alle grandissime distanze, alla scala dell'Universo, usa grandissime infrastrutture di ricerca, costose, molto complesse, gestite da migliaia di ricercatori. "*Un esercizio intellettuale privo di impatto sulla vita umana*"? La risposta sta nello sviluppo tecnologico e industriale che la ricerca di base stessa ha stimolato. La qualità stessa della nostra vita ne trae beneficio in modo decisivo da internet alla medicina, alla microelettronica. Nell'articolo "*Le comunità scientifiche della Big Science*" di **Toni Baroncelli** e **Roberto Chierici**, è studiata l'organizzazione dei grandi gruppi di ricerca degli esperimenti *ATLAS* e *CMS* del *CERN*. La crescita delle comunità scientifiche avviene con lenta continuità ed è resa possibile dalla crescita dei finanziamenti che sono passati, ad esempio, da 0.36 a 1.10 e da 0.15 a 0.43 B$ per i paesi OECD e gli USA rispettivamente negli ultimi 30 anni. L'organizzazione di grandi comunità scientifiche, che contano, nel caso di *ATLAS* e *CMS*, tra i 2000 e 3000 fisici, richiede una struttura formale e codificata che non si ritrova in comunità più piccole e organizzate informalmente. La struttura stessa della collaborazione, il flusso di finanziamenti viene regolato da accordi formali tra le istituzioni finanziatrici e il management dell'esperimento stesso che codifica la gestione tecnico scientifica. La vita di una collaborazione di queste dimensioni si estende su un arco di molti decenni e la proposta di un esperimento, il progetto esecutivo, gli aggiornamenti nella struttura del rivelatore vengono scanditi anche essi da documenti formali che descrivono le responsabilità degli istituti partecipanti nel corso del tempo, il loro impegno costruttivo e scientifico e il livello di finanziamento che le istituzioni finanziatrici dei paesi partecipanti si impegnano a versare per la costruzione, il mantenimento e lo sfruttamento dell'esperimento. Anche la produzione scientifica, un centinaio di pubblicazioni ogni anno per i due esperimenti considerati, segue procedure di scrutinio interno che sono molto accurate e basate su revisori esterni al gruppo di analisi che propone la pubblicazione di un risultato scientifico su rivista internazionale. È sostenibile una ricerca basata su questi livelli economici umani e scientifici? È realistico pensare che la prossima fase dovrà contare su sviluppi tecnologici, che dovrebbero consentire di costruire apparati più efficienti di quelli esistenti con dimensioni e costi molto minori. Non si può non citare l'aspetto umano e sociale di queste grandi collaborazioni: il CERN può essere considerato "*uno stato tra gli stati*, *dove migliaia di persone di decine di nazionalità e culture diverse sono accomunate dalla passione per la ricerca e unite nel linguaggio della scienza*". Un luogo alla frontiera della conoscenza scientifica dove sembra realizzarsi l'utopia del rispetto e della coabitazione tra culture e tradizioni diverse.

La lettera di **Franco Pavese** "*Sulla fuga di cervelli*" riprende il tema, sollevato da un articolo di Cacciola, "*dei ricercatori italiani ... costretti ad emigrare*". La mobilità, dice l'autore, è "*cosa utile ed opportuna*, *e da incentivare*". Il problema è che: "*una Nazione non può permettersi di perdere globalmente delle capacità intellettuali*". È questo il punto nel caso Italia che ha un bilancio netto di flussi totalmente negativo. La lettera chiude con una riflessione sulla precarietà e sul peso che hanno, nella realtà italiana, tradizioni familiari che rendono più faticosa la mobilità.

COP21, L'ACCORDO MONDIALE SUL CLIMA

Maria Cristina Facchini, Susanna Corti, Federico Fierli, Paolo Bonasoni, Sandro Fuzzi

Sommario

Dopo la pubblicazione del 5°Assessment Report (AR5) dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che ha evidenziato come il riscaldamento del clima della Terra sia ormai inequivocabile e che le attività antropiche ne sono la causa principale, a Parigi il 12 dicembre 2015, nell'ambito della COP21, le delegazioni di 195 Paesi hanno finalmente firmato uno storico accordo per affrontare l'emergenza del riscaldamento climatico e ridurre le emissioni di gas serra. L'accordo di Parigi adotta un approccio costituito da una parte legalmente vincolante, che stabilisce regole comuni volte a promuovere un processo trasparente di valutazione delle azioni di mitigazione del riscaldamento climatico, mentre altri elementi sono lasciati alle singole legislazioni nazionali. Questa soluzione si è dimostrata l'unica perseguibile per ottenere una larga adesione internazionale. In questo articolo, alcuni ricercatori dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche discutono e commentano luci ed ombre dell'accordo di Parigi sulla base delle più aggiornate conoscenze sul clima della Terra.

Parole chiave: *cambiamento climatico, gas serra, CO2, COP21, accordo di Parigi, IPCC.*

L'accordo raggiunto a Parigi durante la ventunesima *Conference of Parties* (COP21) dalle delegazioni di 195 Paesi per affrontare l'emergenza del riscaldamento climatico rappresenta senza alcun dubbio un risultato positivo, sebbene in parte limitato da alcuni aspetti legati alle norme attuative che sono vaghe e non legalmente vincolanti, in quanto non è ancora stato stabilito un percorso segnato da tappe (*milestones*) progressive per arrivare agli obiettivi prefissati. Il principale aspetto positivo dell'accordo è che i governi del mondo, ben 195, responsabili di oltre il 95% delle emissioni totali, abbiano preso atto della pressante necessità di contrastare il riscaldamento del clima della Terra (non era per nulla scontato che lo facessero). Si è scelto inoltre di correre insieme per un traguardo più ambizioso di quello minimo richiesto per evitare effetti ambientali disastrosi e non sostenibili. Non ci si è quindi accontentati di porre come soglia al riscaldamento 2 °C in più nel 2100 rispetto al periodo pre-industriale, bensì si è optato per il limite più sicuro di 1.5 °C. (Ricordiamo che attualmente la temperatura media della Terra è di 0.9 °C superiore rispetto al periodo pre-industriale, per cui vi sono solo 0.6 °C che ci separano dalla soglia *off limits*). Non va dimenticato che la COP è un evento politico nel quale la scienza, in questo caso l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC), rimane sullo sfondo con il compito di fornire (solo) le informazioni scientifiche di base sulle quali i *policymakers* prendono le loro decisioni. Il fatto che la politica internazionale, fino ad oggi molto timida in diverse sue componenti nell'impegno a contrastare il riscaldamento globale, abbia preso questa decisione firmando l'accordo di Parigi va visto come un segnale positivo. Senza entrare nel dettaglio dell'accordo (reperibile a questo http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf), va ricordato che esso comprende, oltre al già ricordato obiettivo di soglia massima per l'aumento della temperatura, i seguenti punti principali:

- percorso di riduzione delle emissioni di specie clima-alteranti attraverso una revisione degli impegni ogni 5 anni;
- misure per l'adattamento con lo scopo di aumentare la capacità adattativa e la resilienza delle nostre società e ridurne la vulnerabilità ai cambiamenti climatici;
- un contributo di 100 miliardi di dollari annui a favore dei Paesi che non hanno le risorse per attuare efficaci azioni di riduzione delle emissioni previste dall'accordo, oltre al trasferimento tecnologico e *capacity building* verso questi stessi Paesi.

Stabiliti questi aspetti positivi, va però anche ricordato che molte delle misure previste dall'accordo di Parigi sono su base volontaria e i controlli previsti sono definiti in modo piuttosto vago. Su questi aspetti si sono focalizzate le critiche giunte da più parti di cui abbiamo accennato in apertura. È ovvio infatti che anche un buon accordo come quello di Parigi, se male applicato, potrebbe vanificare le intenzioni positive che hanno portato alla sua stipula. Non bisogna dimenticare che, per non superare l'aumento della temperatura media della Terra di 1.5 °C alla fine di questo secolo rispetto al periodo pre-industriale, le emissioni

di CO_2 (e delle altre specie clima-alteranti) devono raggiungere il loro massimo fra il 2020 ed il 2030. Negli anni successivi le emissioni dovrebbero cominciare a diminuire per giungere alla completa decarbonizzazione delle nostre società per la fine del secolo. È utile qui rammentare che la CO_2 ha una persistenza in atmosfera dell'ordine di alcuni secoli. Questo implica che la temperatura del pianeta continuerà ad aumentare per decenni, anche quando le emissioni saranno azzerate, a causa della CO_2 già presente in atmosfera emessa nei decenni precedenti. I tempi per agire sono quindi stretti ed è questa consapevolezza che ha portato i governi del mondo verso l'accordo di Parigi.

Tre cose sono comunque certe:

- l'impegno a contrastare il riscaldamento del clima può essere solamente globale: una tonnellata di CO_2 emessa in Italia ha lo stesso effetto sul clima di una tonnellata emessa in Australia;
- i costi, certamente elevati, della mitigazione ed adattamento al cambiamento del clima sono senz'altro inferiori a quelli che si dovranno sostenere nel caso la temperatura media del pianeta ecceda i limiti fissati a Parigi;
- possediamo già tutte le tecnologie che possono servire a ridurre il riscaldamento del clima. Anzi esso può essere visto come un'opportunità di sviluppo socio-economico e tecnologico per il mondo nel suo complesso.

In conclusione, ci troviamo dopo Parigi a un buon punto di partenza della via che potrà permettere di contenere il riscaldamento globale a un livello sostenibile per le nostre società. La comunità scientifica può fornire assistenza in questo percorso con osservazioni, previsioni e proiezioni climatiche sempre più precise che possono aiutare i governi e il mondo industriale ed economico a persistere e migliorare le azioni di mitigazione ed adattamento al cambiamento climatico. In questo contesto la ricerca scientifica, svolge un ruolo fondamentale nel promuovere studi ed analisi sul clima (passato, attuale e futuro), utili per descrivere il suo stato e spesso indispensabili per mettere a punto modelli climatici e di impatto in grado di migliorare la qualità delle ricostruzioni del clima del passato e ridurre l'incertezza legata alle proiezioni climatiche per il futuro del pianeta Terra. In Italia, queste azioni di ricerca costituiscono il DNA dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima del Consiglio Nazionale delle Ricerche i cui ricercatori sono stati coinvolti nella stesura e nella revisione del quinto rapporto dell'IPCC e sono impegnati al tempo stesso in attività osservative legate allo studio della composizione dell'atmosfera e in attività di sviluppo ed analisi modellistiche applicate al clima. Mantenere l'aumento di temperatura della Terra entro 1.5 °C alla fine di questo secolo, significa proseguire ed intensificare un processo che deve vedere tutti gli stati impegnati nel massimo sforzo per ridurre le emissioni di composti clima-alteranti. A fine novembre 2015, ISPRA – Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale – presentando l'Inventario nazionale delle emissioni dei gas ad effetto serra (Comunicato stampa in vista di COP21) ricordava che "*Tra il 1990 e il 2013 le emissioni di tutti i gas serra sono passate da 521 a 437 milioni di tonnellate di CO_2 equivalente, variazione ottenuta principalmente grazie alla riduzione delle emissioni di CO_2, che contribuiscono per l'82% del totale e risultano, nel 2013, inferiori del 17.4% rispetto al 1990. La riduzione, riscontrata in particolare dal 2008, è conseguenza sia della riduzione dei consumi energetici e delle produzioni industriali a causa della crisi economica e della delocalizzazione di alcuni settori produttivi, sia della crescita della produzione di energia da fonti rinnovabili (idroelettrico ed eolico) e di un incremento dell'efficienza energetica*".

Nonostante le riduzioni nelle emissioni da parte di alcuni Paesi virtuosi, la concentrazione globale di CO_2, il principale gas serra, continua ad aumentare inesorabilmente. Inoltre, fatto ancora più preoccupante, aumenta anche il suo tasso di crescita (*growth-rate*). A Mauna Loa (stazione di riferimento, nelle Hawaii, che dal 1959 esegue misure continue di CO_2) il valore record mensile a gennaio 2016 è stato di 402.52 ppm, e il *growth-rate* annuo ha raggiunto il valore record di 2.89 ppm, secondo solo ai 2.93 ppm del 1998.

Il problema del cambiamento del clima è IL PROBLEMA del nostro secolo, in quanto ad esso sono legati tanti altri aspetti che influenzano la vita stessa dell'uomo sulla Terra: la salute e la disponibilità di acqua e di risorse alimentari Per questo è importante che i cittadini e le varie organizzazioni che li rappresentano, oltre ad assumere comportamenti e stili di vita virtuosi nella quotidianità, vigilino ed esercitino le dovute pressioni sui governi affinché il percorso virtuoso iniziato a Parigi venga completato.

Concludiamo ricordando le parole che il Ministro dell'Ambiente ha pronunciato a Parigi l'8 Dicembre 2015 in occasione della COP21: "*Montagne, deserti e isole: le aree fragili devono essere al centro delle azioni di supporto della comunità internazionale per centrare l'obiettivo sul clima e garantire uno sviluppo sostenibile per il pianeta*". La speranza è che queste parole possano ora lasciare spazio a fatti concreti, sia nell'ambito delle politiche di mitigazione e adattamento che per quanto riguarda il potenziamento della ricerca scientifica in questo settore.

MARIA CRISTINA FACCHINI

Institute of Atmospheric Sciences and Climate (ISAC)
National Research Council (CNR) Via Gobetti 101,
40129 Bologna (Italy)
Phone +39 051 639 9563 fax +39 051 639 9647
E-mail: mc.facchini@isac.cnr.it
Web page: http://atmoschembo.freshcreator.com/

Note

[1] Gli autori sono ricercatori dell'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR).

ISAC promuove e sviluppa una comprensione scientifica integrata dell'atmosfera e dei suoi processi, tramite un approccio multidisciplinare che combina capacità scientifiche e tecnologiche nei settori della meteorologia, della climatologia, della dinamica dell'atmosfera, della composizione chimica, e dell'osservazione della terra, realizzando ricerca fondamentale, sperimentale e modellistica, e valutazioni di impatto.
L'ISAC è il principale Istituto del CNR per la ricerca nelle Scienze dell'Atmosfera, organizzato in 7 unità territoriali, 7 osservatori permanenti, che comprendono anche 2 Stazioni Globali del Programma Global Atmosphere Watch della World Meteorological Organization e 2 supersiti. L'ISAC è riconosciuto internazionalmente attraverso le sue collaborazioni con numerosi laboratori europei e centri di ricerca mondiali.

DISSEMINARE LA SCIENZA NELLA SOCIETÀ DEI "COMPLOTTI"

Monica Di Fiore

Sommario

Il presente saggio intende riflettere su un aspetto della scienza che assume sempre maggior rilievo: la divulgazione ai pubblici non specialistici, dalla generica "società" ai decisori politici. Lo scopo del contributo è ripercorrere le principali difficoltà che si oppongono al processo di trasmissione della ricerca scientifica, a partire da quelle relative al mondo accademico e degli enti. Attraverso il riferimento – tra l'altro – ad alcune buone e cattive pratiche, si ricostruisce il legame tra l'atteggiamento pubblico nei confronti della ricerca e il processo di corruzione che si verifica nel rapporto tra i produttori, i mediatori e gli utilizzatori, spesso inconsapevoli, della conoscenza.

Parole chiave: *comunicazione, divulgazione scientifica, public engagement.*

Le responsabilità degli Stakeholder

La divulgazione della scienza nasce dall'esigenza di veicolare pensiero e prassi della ricerca, semplificandone la complessità, nella società e nelle istituzioni: assemblee lontane dalla comunità di origine ma che rappresentano, di fatto e di diritto, i destinatari della conoscenza prodotta e delle sue applicazioni. I dibattiti e la cronaca ci informano però che "qualcosa si è rotto" nel rapporto tra ricerca scientifica, comunicazione, opinione pubblica e decisioni politiche[1].

Testimoni attendibili di tale crisi sono tante pratiche della comunicazione: la carne "cancerogena", i vaccini, gli OGM, la sperimentazione animale, il cosiddetto metodo Stamina, il Global Warming: questi temi si ritrovano nel testo *Parola di scienziato*, curato da Marco Ferrazzoli, Capo Ufficio stampa del Cnr e Francesca Dragotto, sociolinguista dell'Università di Roma Tor Vergata[2]. Ma la cronaca incalza con sempre nuovi casi, si pensi, per esempio, al processo per il terremoto dell'Aquila, con la serie di malintesi sostanziali e mediatici che hanno portato ad accusare da un lato la Commissione Grandi Rischi di mancato allarme e, dall'altro, la magistratura di aver celebrato un processo alla scienza. "*Le migliori conoscenze tecniche, scientifiche e professionali disponibili*" non costituiscono "verità in senso ontologico" e "*nessun modello può essere una rappresentazione fedele della realtà*", commentano al riguardo alcuni operatori della produzione e della comunicazione scientifica in *Terremoti, comunicazione, diritto*: a "*maggior ragione*" nella sismologia, che studia "*processi non lineari, altamente influenzabili da variazioni infinitesimali dallo stato complessivo della Terra (non solo nelle immediate vicinanze dell'ipocentro)*", e per la quale quindi "*i processi fisici che avvengono prima dei terremoti sono ancora largamente sconosciuti*".

Oppure si prenda il caso della Xylella, tanto analogo a quello aquilano da apparire in qualche modo come un preoccupante sequel, nel quale il potere giudiziario sembra voler addebitare ai ricercatori addirittura i risultati degli studi svolti, oltre che la relativa comunicazione agli stakeholder coinvolti. La vicenda ha ottenuto l'attenzione della stampa internazionale, con Nature che riporta, anch'essa palesemente scioccata, lo sgomento dei ricercatori indagati: "*We are shocked*", says Donato Boscia, head of the Bari unit of Italy's Institute for Sustainable Plant Protection. He is one of the accused, who, according to local newspaper reports of the press conference, are suspected of "*negligent spreading of the plant disease, presenting false information and materials to officials, environmental pollution and disfiguring natural beauty*"[3].

Persino un esempio che potremmo assumere per il suo successo mediatico, quello del Bosone di Higgs, si rivela a una lettura approfondita come un percorso complesso e contraddittorio, probabilmente rimasto prerogativa di un'élite per quanto concerne la completa e corretta comprensione dei contenuti, ma assurto a un'ampia popolarità presso il pubblico generalista grazie a una narrazione immaginifica di quella che, non a caso, è stata indicata come "particella di Dio". Una narrazione in cui però non mancano incidenti eclatanti frutto di impreparazione, approssimazione o improvvisazione, come è accaduto con il comunicato dell'allora Ministro dell'Istruzione, Università e Ricerca, Maria Stella Gelmini, che incautamente citava un investimento italiano nella costruzione del presunto "tunnel" tra il CERN e il Gran Sasso. La reazione mediatica fu tanto esplosiva e sarcastica che si concluse con le dimissioni del portavoce.

ANALISYS - 1/2016

Anche il diffuso consenso di cui gode la tesi dell'AGW (Anthropogenetic Global Warming), che riconduce il riscaldamento globale all'azione dell'uomo, secondo il giornalista scientifico Renato Sartini si deve, oltre che alla sua capacità di interpretare i dati disponibili sui fenomeni climatici, all'uso di artifici retorici quali gli archetipi mitologico-narrativi da parte dei suoi sostenitori[4].

Le responsabilità della crisi delle relazioni sociali della comunità scientifica vanno addebitate quindi ai mediatori? In parte, sicuramente sì, ma sarebbe opportuno distinguere tra divulgatori e mass media e, per quanto riguarda questi ultimi, "tra la generica comunicazione e l'informazione", cioè tra "la trasmissione mediatica di qualunque contenuto, in esponenziale amplificazione dopo il Web 2.0, e la parte riservata ai professionisti, che versa in una crisi conclamata. Al progressivo assorbimento della seconda nella prima, i giornalisti dovrebbero rispondere giustificando la propria specificità con la qualificazione professionale, che, spesso, non è adeguata"[5].

Troppa tecnica, troppa "utilità"

Un'analisi delle responsabilità che hanno portato alla scarsa sensibilità pubblica e in particolare politica nei confronti della scienza non può esentare da osservazioni critiche la comunità dei ricercatori, cioè i produttori della conoscenza stessa. Intanto, osserviamo che in un tempo in cui il dialogo tra esperti diventa essenziale per un'attività scientifica sempre più interdisciplinare, l'umiltà necessaria per comunicare diviene anch'essa ineludibile e quindi il ricercatore ha un preciso dovere di riconoscere il ruolo strategico della società civile come interlocutore.

Il pubblico, d'altronde, oppone al dialogo con le fonti scientifiche l'ostacolo rappresentato dalla propria impreparazione e appare quindi doveroso, rispetto al processo di corruzione che sembra ineluttabile nel momento in cui i contenuti scientifici vengono trasferiti dalla fonte ai target, individuare anche le responsabilità dei destinatari. Un rapporto scientifico del Joint Research Centre (JRC) sottolinea che "*[...] a dangerous mind set in science advice to policy is adherence to the so called 'deficit model', according to which an issue becomes 'wicked', and public perception, acceptance and trust of science deteriorate simply because the public, the policy makers, and other lay actors all lack the scientific expertise which would allow them to understand the technical argument*"[6].

Ma non è solo un problema di scarsa alfabetizzazione. Jerome Ravetz, uno dei padri fondatori della Scienza Post Normale (PNS), in qualche modo anticipava già nei primi anni '70 del secolo scorso la spirale dell'attuale crisi, evidenziando l'insorgere di una nuova etica della ricerca che trasformerebbe la scienza in tecno-scienza, identificando la propria missione con il profitto, il mercato, la competitività e la crescita[7]. Senza pronunciarci in modo definitivo su quest'ipotesi accusatoria, limitiamoci a evidenziare che la discronia tra le aspettative sociali condizionate dal modello dell'ottimismo tecnologico dominante e i tempi lunghi necessari per mantenere le promesse dischiuse dalle scoperte scientifiche dovrebbe far comprendere quanto l'insistenza sull'utilità pratica della scienza diventi inevitabilmente eccessiva e pertanto controproducente.

Il fisico Luciano Maiani osserva però che una divulgazione efficace deve proprio far "*vedere la forza del pensiero che trasforma le idee in formule concrete da applicare poi al mondo intorno a noi*". Solo così, ritiene l'ex Presidente del Cnr, il rapporto che lo scienziato stabilisce con il suo potenziale pubblico può rispondere a tre requisiti essenziali: "*entusiasmare, chiarire e portare lontano*". A questi temi anche l'Unione Europea dedica sempre più attenzione e nel febbraio scorso, in un incontro tra *scientist* ed istituzioni, Vladimír Šucha, direttore generale del Joint Research Center (JRC), ha lanciato un appello proprio a "*raccontare l'innovazione in nuovi modi*".

Un problema di storytelling

La divulgazione è un sistema di trasmissione a più voci. E anche il suo oggetto non è meno complesso: cosa deve comunicare la scienza? Il proprio metodo, la multidisciplinarietà o interdisciplinarietà, la propria utilità pratica oppure, viceversa, il valore dell'approfondimento della conoscenza pura? La difficoltà di connettere mondo accademico e della ricerca, mass media e pubblico attiene poi a profonde differenze nelle impostazioni culturali e di linguaggio tra chi produce, chi trasferisce e chi utilizza la conoscenza scientifica.

Ovunque si voglia porre il baricentro delle responsabilità, comunque, è prioritario che tutti i soggetti coinvolti abbiano chiaro l'impatto nodale che una buona disseminazione della scienza ha per la sua accettazione pubblica, nonché il ruolo che un nuovo e migliore modo di divulgare assume nel processo democratico. Proprio il deficit democratico dei processi decisionali è del resto lo scenario nel quale la Commissione Europea ha inserito il suo programma di finanziamento per la ricerca Horizon 2020[8], al centro del quale è stata posta l'interdipendenza tra scienza e società, da realizzare anche attraverso un sistema di consultazioni pubbliche finalizzate a costruire una visione comune della

società futura. Per usare le parole del nostro massimo divulgatore, Piero Angela, l'alfabetizzazione scientifica è pertanto una "*condizione essenziale per capire e quindi per partecipare. La democrazia non può basarsi sull'ignoranza dei problemi*"[9].

Ognuno degli attori coinvolti deve quindi rendersi attivo per colmare il gap oggi esistente. Una scienza intrappolata nella *turris eburnea* dei laboratori non può decodificare le domande della società. La ricerca, per interpretarle, deve essere in grado di uscire dai propri schemi disciplinari. Il *Public engagement* è l'elemento chiave per sciogliere il sospetto e l'indifferenza con cui l'opinione pubblica troppo spesso guarda alla funzione della ricerca. Ovviamente far convivere efficacia e scrupolosità mediatica non è facile. La trappola del sensazionalismo rimane sempre in agguato e il prevalere dello *storytelling* tende a risolvere la complessità del messaggio scientifico in una formula che, perseguendo la maggiore attenzione possibile, rispetto alle valutazioni razionali preferisce animare pulsioni emotive ed etiche, privilegiando il contenuto che "*si connota come 'bello', oltre che 'vero'*", come osserva Ferrazzoli nella convinzione che "*le rappresentazioni o costruzioni sociali predominano e questo costituisce un problema evidente per la scienza, che invece opera in funzione della* superiorità *oggettiva del dato di realtà*"[10]. "*È anche per questo che la conoscenza non è più un valore intangibile e la parola di chi detiene le competenze tende a sfumare in un parere tra i tanti*"[11].

Non va trascurata inoltre, riguardo all'aspetto prima enunciato dei linguaggi, la divaricazione di approcci e obiettivi tra operatori dei mass media e ricercatori, per i quali gli interlocutori sono prevalentemente i "pari". Il linguaggio rischia di tracciare tra questi due mondi una frontiera, anziché di costruire il ponte essenziale per veicolare l'informazione a un destinatario non preparato a cogliere la complessità del reale. Al divulgatore spetta la responsabilità di trovare e scegliere i codici più efficaci, a partire da quelli necessari per trasferire in parole quotidiane concetti specialistici e favorire così l'interlocuzione e lo sviluppo di una condivisione effettiva. "*Dal concetto di public awareness, che mirava di fatto solo a informare gli stakeholder, si è passati al tema Science in Society, con l'obiettivo di restituire alla scienza il suo ruolo di componente fondamentale della cultura moderna*" si legge in un rapporto CNR-AIRI che prende spunto dall'ultimo programma di finanziamento per la ricerca dell'Unione Europea che ha sviluppato un nuovo orientamento definito come ricerca ed innovazione responsabile (RRI). "*Questa integrazione è resa possibile attraverso la promozione della RRI, cioè l'impegno dei cittadini e della società in un processo di ricerca e di innovazione co-creativo*"[12].

Dal laboratorio al pubblico

Le fonti di informazione sono al centro di un'evoluzione straordinaria, la carta stampata ha evidentemente perso peso nella composizione del paniere culturale[13] e nuove forme divulgative, dai musei scientifici ai festival culturali, ne acquisiscono sempre più, anche in Italia. Il web 2.0 è però ovviamente la rivoluzione più potente, poiché consente un'interazione tale da annullare quasi la distinzione tra fonti e destinatari dei messaggi. Come osservano Funtowicz e Ravetz "*l'era del web non sta distruggendo la scienza ma sta mettendo in discussione il sistema di autorità legato alla scienza*"[14]. La visione più critica di tali modifiche sfiora il pessimismo apocalittico, arrivando a chiedersi se *Internet ci rende stupidi?*, come fa Nicholas Carr assicurando che "*la Rete sta cambiando il nostro cervello*"[15]. A farle da contraltare, l'ottimismo e la presunzione in base alla quale queste tecnologie basterebbero invece a fornire una cultura neutrale e a formare una cittadinanza consapevole. Più equilibrata appare, tra questi due opposti, la posizione di Giulio Giorello secondo cui, per quanto concerne il dialogo scienza-società, proprio "*la Rete potrebbe essere uno dei luoghi della comunicazione fra amministrazione, politica, industria, da una parte, e mondo tecnico-scientifico, dall'altra*"[16].

La comunicazione attraverso i media 2.0 deve tenere in ogni caso conto di molteplici aspetti che riguardano la condivisione dei contenuti, la bidirezionalità delle relazioni, la "socializzazione" delle informazioni e, tra i principali, la viralità della diffusione che rende spesso problematico il controllo dei contenuti. Appare evidente l'ampia distanza tra questa prospettiva e il processo di valutazione consueto a chi "*opera in ambiti specialistici, scientifici e culturali, dove, anche solo perché una posizione venga considerata, chi la sostiene deve dimostrare conoscenze e competenze precise, nonché il rigore del metodo seguito per assumerla*"[17]. In realtà, per quanto concerne la peer review, cioè la revisione dell'attività scientifica tra i "pari" che dovrebbe assicurare il corretto funzionamento del sistema scientifico, potremmo dire che si tratta di un "processo sotto processo", per il quale appare urgente ipotizzare un adeguamento. La selezione che porta alla pubblicazione sulle riviste scientifiche è infatti viziata da meccanismi che sembrano allontanarla dalle buone pratiche, come evidenziano tra le altre le analisi di Silvano Fuso ed Enrico Bucci[18]: la propensione a privilegiare scoperte mediaticamente più eclatanti, la tendenza a incentivare gli scienziati a pubblicare, talvolta in modo poco accurato, al fine di ottenere risorse finanziarie o per avanzamenti di carriera[19]. Il sistema di controllo di importanti riviste quali Science, Natu-

re e The Lancet appare troppo vulnerabile, al punto di indurre l'editore Springer a licenziare un software per scoprire gli articoli 'bidone'[20]. "*Science still commands enormous — if sometimes bemused —respect. But its privileged status is founded on the capacity to be right most of the time and to correct its mistakes when it gets things wrong*" spiegava un dossier dell'*Economist* intitolato *How science goes wrong*: "*The false trails laid down by shoddy research are an unforgivable barrier to understanding*"[21].

Più recentemente, anche Nature in un editoriale si chiedeva quanto sia lecito avere ancora fiducia negli scienziati: "*With some exceptions, scientific organizations do not engage with the issue of misconduct as seriously as they should. Why would they, when public confidence and (moral and financial) support remains so high?*"[22].

Oggi che si richiede un maggior *public engagement* già durante le attività di ricerca, dato il carattere controverso di molte di esse, poi, la situazione si fa ancora più calda: "*given that controversy currently surrounds several issues where science is called on to play a role: from GMO to climate, from bees and pesticides to shale gas fracking [...] A non-reproducibility tsunami is hitting medical research, organic chemistry syntheses work, social sciences, and many other research fields, and some historians link this to a collapse of norms due to the commoditisation of research*"[23].

Verso il complottismo

L'Italia è un esempio paradigmatico della scarsa considerazione del valore e della utilità della ricerca e dell'innovazione. I dati sul numero dei laureati, sulle immatricolazioni alle facoltà scientifiche, sui ricercatori in assoluto e in rapporto alla popolazione lavorativa lo indicano con chiarezza. Uno tra i più significativi è la scarsa propensione all'investimento in ricerca e innovazione delle imprese: "*Nel nostro paese la figura del ricercatore è prevista negli enti pubblici e nelle università, ma non nei contratti collettivi di lavoro del settore privato*"[24], osserva per esempio Giorgio Sirilli, a comprovarlo. Specularmente c'è chi sostiene, come il Premio Nobel per la Medicina John E. Sulston, che la pressione degli interessi economici e finanziari sulla ricerca è eccessiva e che "*i fini della scienza sono dettati dal mercato e non più da un desiderio di scoperta*"[25]. Del resto, "*The ideal of a disinterested scientific practice which manages to isolate itself from the messiness of everyday life and politics is, of course, an abstraction*"[26].

Un frame "sfiduciario" rende poi inevitabile un giudizio sociale ancor più severo e spinge i mezzi di comunicazione e la cronaca a comprimere il giudizio critico in eccessive esemplificazioni o malevole interpretazioni, a enfatizzare gli eccessi e le distorsioni. Che lo scenario sia questo, soprattutto nel nostro paese, è chiaro. Giuseppe De Rita, dalle pagine del Corriere della Sera, ha denunciato la presenza di "*un pericoloso virus culturale: la crescita di una sottile 'ferocia' di delegittimazione dei leader, veri o potenziali che siano*"[27]. *Una critica pregiudiziale ed egemonica, che domina il rapporto con le istituzioni, fa prevalere l'"espressione sociale del dissenso"*[28] e pervade molti aspetti della vita pubblica.

Un atteggiamento che non risparmia la scienza e la tecnologia, con i cittadini che troppo spesso percepiscono con "*pessimismo nostalgico [...] il lavoro degli scienziati come una minaccia per la condizione di benessere esistente*"[29]. Le ultime indagini dell'*Osservatorio Scienza Tecnologia e Società*, indicano che "*il 77% degli italiani ritiene che la scienza e la tecnologia cambino troppo velocemente il nostro stile di vita e quasi tre su cinque considerano la scienza e la tecnologia responsabili della maggior parte dei problemi ambientali, anche se il 68% afferma che solo la scienza può dirci la verità sull'uomo e sul suo posto nella natura*"[30].

Sono indubbiamente lontani i tempi in cui tra gente comune e studiosi si interponeva una netta separazione verticale, che non consentiva la contestazione di teorie e scoperte e anzi manteneva il rapporto tra la collettività e la comunità scientifica su un piano di rispetto e deferenza, ancorandolo a un principio indiscutibile di autorità. Sono riflessioni che investono lo stesso JRC "*Some issues, for which once upon a time a linear model of input from science to policy seemed possible, have even become 'wicked', meaning that they are deeply entangled in a web of hardly separable facts, interests and values. The present day sees media openly challenging trust in science, while norms associated with the scientific enterprise are under concerned scrutiny*"[31].

Oggi invece la "*mancanza di fiducia nelle autorità competenti emerge come un varco nel quale si può inserire qualunque tesi complottistica o scorciatoia millantata*"[32]. Lo sviluppo del web 2.0 in particolare, come si accennava, ha annullato ogni verticalità, virando le relazioni sociali verso una dimensione orizzontale nella quale si finisce per azzerare le competenze. In questo *humus* un contenuto errato e antiscientifico tende ad avere un impatto comunicativo di successo. Siamo "*culturalmente ansiosi, immersi in una società ansiosa. Dominati dalla società della paura*"[33] osserva Pierluigi Battista sul Corriere, e la comunicazione pseudo scientifica cavalca e quindi

esorcizza tale paura. Il dubbio, in questo scenario, non è più uno strumento di lavoro e un presupposto epistemologico per la ricerca scientifica, ma un pregiudizio ad essa ostile.

Aumenta lo spazio di incomunicabilità e la tentazione del complotto. Il "nostro cervello facilmente ingannabile" è preda di paure e credenze "irrazionali"[34], e la produzione di contronarrative su un mondo governato da segreti, alterazioni della verità e perfino delle identità rischia di apparirgli una convincente difesa contro l'ignoto. L'aneddotica è piena di esempi: dalle scie chimiche, che secondo queste tesi fantasiose quanto indimostrate verrebbero rilasciate in volo grazie ad apparecchiature montate sui velivoli, al fine di alterare ambiente e salute, alla presunta creazione in laboratorio dei virus dell'Aids e di Ebola.

La deriva del complottismo è un punto di non ritorno. L'unico modo per contrastarla è prepararsi a comunicare la scienza a una platea culturalmente impreparata e psicologicamente predisposta alla critica più radicale. Una platea che giudica la scienza e che non è un interlocutore unitario. La risposta è la strada della co- produzione di conoscenza, seguendo un percorso il più possibile condiviso. La società, allo stesso tempo, deve imparare a gestire l'incertezza. "*Ogni affermazione scientifica è potenzialmente erronea e viene ritenuta vera fino a quando non viene dimostrata falsa*"[35].

Bibliografia

1. ECONOMIST (2013), *How science goes wrong*, 19 October (http://www.economist.com/news/leaders/21588069-scientific-research-has-changed-world-now-it-needs-change-itself-how-science-goes-wrong.
2. Dragotto F., Ferrazzoli M. (a cura di) (2014), *Parola di scienziato. La conoscenza ridotta a opinione*, Universitalia, Roma.
3. Abbott A. (2015), *Italian scientists under investigation after olive-tree deaths*, Nature, 21 December.
4. Sartini R., *Il Global Warming*, in Dragotto F., Ferrazzoli M., op. cit.
5. Dragotto F., Ferrazzoli M., op. cit.
6. Guimarães Pereira A, Saltelli A (2014), *Of Styles and Methods. A quest for JRC's identity at times of change*, Publications Office of the European Union.
7. Ravetz J. (1971), *Scientific Knowledge and its Social Problems*, Oxford University Press.
8. http://ec.europa.eu/research/swafs/index.cfm?pg=home.
9. Angela P. (2002), *Viaggio nella scienza*, Mondadori, Milano.
10. Ferrazzoli M., *Alla parola di scienziato serve lo storytelling*, in Lombardinilo A. (a cura di), *Narrazioni dell'incertezza*, Franco Angeli, in prossima uscita.
11. Dragotto F., Ferrazzoli M. (a cura di), op. cit.
12. Airi, Cnr (2015), *Report Tecnico sulla "Ricerca e Innovazione Responsabile"*, Novembre.
13. Cfr. Mazzoli L., Zanchini G. (acd) (2015), *Info Cult*, Franco Angeli.
14. Funtowicz S., Ravetz J. (2015), *Peer Review and Quality Control, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 2nd edition.
15. Carr N. (2011), *Internet ci rende stupidi?*, Cortina Raffaello, Milano.
16. Giorello G. (2014), *Come difendersi in Rete dalle leggende sulla scienza*, Corriere della Sera, 24 maggio.
17. Dragotto F., Ferrazzoli M., op. cit.
18. Fuso S. (2013), *La falsa scienza*, Carocci, Roma; Bucci E. (2015), *Cattivi scienziati*, Add, Roma.
19. Internazionale, *Gli errori della scienza*, 25/31 ottobre 2013. L'originale sull'Economist è op. cit. Cfr. anche Cristiano R. (2011), *Oltre l'unanimemente accettato*, Sapere, giugno e Delfanti A. (2011), *Guida alla valutazione ideale*, Le Scienze, luglio.
20. Bohannon J. (2015), *Hoax-detecting software spots fake papers, Science*, March 27, (http://news.sciencemag.org/scientific-community/2015/03/hoax-detecting-software-spots-fake-papers).
21. Economist, op. cit.
22. Nature (2015), *Misplaced faith. The public trusts scientists much more than scientists think. But should it?*, Editorial, 2 June, Nature, 522: 6.
23. Guimarães Pereira A, Saltelli A., op. cit.
24. Sirilli G. (a cura di) (2010), *La produzione e la diffusione della conoscenza. Ricerca e Innovazione e risorse umane*, Fondazione Crui, Roma.
25. Sulston J. (2015), *Troppi "soldi facili" in laboratorio*, Il Sole 24 ore, 7 giugno.
26. Saltelli, A., Ravetz J., Funtowicz S. (2015), *Who will solve the crisis of science?*, forthcoming in Benessia A., Funtowicz S., Giampietro M., Guimarães Pereira A., Ravetz J., Saltelli A., Strand R., van der Sluijs J. (eds.) (2015), *Science on the verge, To be published by The Consortium for Science*, Policy and Outcomes at Arizona State University.
27. G. De Rita (2015), *L'inutile corsa a delegittimare*, Corriere della Sera, 5 febbraio.
28. Rosanvallon P., (2012), *Controdemocrazia*, Castelvecchi, Roma. Cfr. anche Marzano M. (2012), *Avere fiducia*, Mondadori, Milano.
29. Corbellini G. (2013), *Scienza*, Bollati Boringhieri, Torino.
30. Observa-Science in Society (2014), *Annuario Scienza e Società 2014*, Il Mulino, Bologna.
31. Guimarães Pereira A., Saltelli A., op. cit.
32. Dragotto F., Ferrazzoli M. (a cura di), op. cit.
33. Battista P. (2015), *La società delle paure*, Corriere della Sera, 8 novembre.
34. Corbellini G., 2013, op. cit.
35. Fuso S., op. cit.

MONICA DI FIORE

Laureata in Scienze Politiche, Ph.D in Sistemi Sociali, Organizzazione e Analisi delle Politiche Pubbliche, dal 2013 lavora presso la Struttura di particolare rilievo Reti e Sistemi informativi del CNR, occupandosi di diffusione della conoscenza scientifica e più in particolare dei principali aspetti del diritto d'autore legati alla pubblicazione in accesso aperto della letteratura scientifica.
Dal 2014 collabora con l'Ufficio Stampa del Cnr ed è parte della redazione del nuovo Portale dell'Ente, come curatrice del canale Imprese.

Contatti:

SPR Reti e Sistemi Informativi (RSI), CNR Roma
E-mail: monica.difiore@cnr.it

LE COMUNITÀ SCIENTIFICHE DELLA BIG SCIENCE

Toni Baroncelli, Roberto Chierici

Sommario

In questo articolo si analizzano e si discutono le motivazioni della ricerca fondamentale e la necessità che essa venga fatta attraverso collaborazioni scientifiche organizzate a livello mondiale, in quella che viene spesso definita "Big Science". Il caso specifico della fisica delle particelle, cui entrambi gli autori hanno contribuito per decenni, è presentato con grande dettaglio: si discutono i processi formali per creare organizzazioni scientifiche di migliaia di persone e per mantenerle in opera per decine d'anni, nonché i costi derivanti. Si illustra come i fisici siano stati capaci di creare collaborazioni su scala mondiale dotate di una efficiente organizzazione interna, sia dal punto di vista della divisione dei compiti che del sistema della produzione di pubblicazioni, lasciando anche spazio a considerazioni più di natura personale sugli aspetti umani legati a simili imprese.

Parole chiave: *Big Science, fisica alte energie, CERN, ATLAS, CMS.*

Introduzione alla ricerca fondamentale e alla Big Science

L'uomo ha sempre cercato di trovare risposte a domande fondamentali sulla natura che lo circonda, nella perenne ricerca di comprendere i meccanismi e le leggi che regolano il funzionamento di ciò che percepiamo. Lo scopo della cosiddetta ricerca "fondamentale", o "pura", o di "base", è proprio quello di affrontare queste domande utilizzando l'approccio del metodo scientifico e facendosi guidare dall'esperienza nello studio della Natura.

Sebbene, ad una prima analisi superficiale, la ricerca fondamentale possa apparire solo come un esercizio intellettuale privo di un impatto sulla vita umana, non vi è in realtà nulla che sia più necessario per lo sviluppo scientifico e tecnologico, con conseguenze talvolta di portata epocale per l'evoluzione delle condizioni umane. Purtroppo ancora oggi, in una società che dà troppo poco risalto a notizie scientifiche ed in una cultura dove i valori della ricerca e della sperimentazione sono assolutamente secondari, vi sono persone che si pongono domande riguardo l'utilità della ricerca fondamentale, esprimendo talvolta dubbi su quegli stessi mezzi di comunicazione che dovrebbero invece servire a diffondere e creare una cultura della scienza. È utile ricordare uno qualsiasi dei molti esempi di studio di fenomeni sconosciuti che ha avuto conseguenze memorabili nella storia dello sviluppo umano. Si provi ad immaginare, per esempio, il XX secolo senza gli studi di Faraday sulla trasmissione di elettroni all'interno di un filo, e la vita di oggi senza l'elettricità e l'elettronica. Più in generale è vero che gli studi sulla materia e i suoi costituenti hanno portato a grandi successi dal punto di vista dell'avanzamento tecnologico: si pensi a come la comprensione dei meccanismi che regolano il comportamento della materia a livello atomico ha portato, con la meccanica quantistica, alla teoria dei solidi, allo sviluppo dei transistor e quindi a tutta la microelettronica, o di come la comprensione della radiazione abbia dato un impulso notevole allo sviluppo energetico e alla nascita di molte applicazioni di diagnostica medica. Non soltanto la comprensione più approfondita dei fenomeni che osserviamo può aprire porte insperate allo sviluppo tecnologico, ma anche gli stessi metodi degli esperimenti nella ricerca di base, che implicano sempre l'uso di tecnologie anch'esse ai confini della conoscenza, stimolano in modo costante la nascita di nuove idee. Rimanendo nel dominio dello studio della materia e della sua struttura più intima, esempi di come la ricerca pura possa giovare alla società vengono proprio dalla fisica delle particelle presso i grandi acceleratori. Internet, per citare l'esempio più conosciuto, è stato ideato per la prima volta come strumento di comunicazione tra fisici nel laboratorio del *CERN* di Ginevra. Le tecniche di accelerazione di particelle sono oramai applicate in ambienti medici e biologici, nell'industria dei semiconduttori, nelle tecniche di smaltimento di rifiuti radioattivi. Ancora, si possono trovare *spin-off* da tecniche di rivelazione di particelle in metodi di ispezione non invasive e diagnostica medica.

Anche se questi esempi non sono che una piccola parte di ciò che potremmo citare a supporto della ricerca di base, dovrebbe già apparire evidente che dubitare oggi dell'utilità di una ricerca senza immediate applicazioni pratiche significa non comprendere l'enorme valore economico e la ricaduta sulla società della scienza di base e come le scoperte scientifiche

siano il seme dello sviluppo tecnologico. Il processo con il quale questo seme porta i suoi frutti è complesso e talvolta lento, ma le ricadute sociali ed economiche sono di portata potenzialmente enorme. Il mondo come lo conosciamo oggi sarebbe impensabile senza la ricerca fondamentale avvenuta nell'ultimo secolo, e lo sviluppo tecnologico da essa derivato. Analogamente, la civiltà umana tra un secolo è inimmaginabile con solo le conoscenze odierne, ma sarà formata da quanto e come investiamo oggi nella ricerca: aumentare la conoscenza dell'uomo è, da sempre, il migliore investimento possibile.

Le domande fondamentali riguardo la realtà che ci circonda, e che hanno guidato lo sviluppo umano, sono ovviamente cambiate anch'esse con il progresso della conoscenza e della tecnologia, diventando sempre più articolate e profonde. I principali interrogativi di oggi riguardano quegli aspetti della realtà che sono più difficilmente accessibili, come lo studio della struttura più intima della materia o la storia e il comportamento dell'Universo. Questi due estremi, l'infinitamente piccolo e l'infinitamente grande, sono spesso collegati da problematiche comuni, il che rende il loro studio ancora più affascinante: quali sono i costituenti elementari della materia e con quali tipi di forze interagiscono tra di loro? Perché l'Universo è come lo osserviamo? Come si è formato? Ci sono forze e materia ad oggi ancora sconosciuti? La fisica dell'infinitamente piccolo e dell'infinitamente grande racchiude molti dei misteri che sono all'origine dei meccanismi che regolano la nostra realtà, e il denominatore comune di queste domande fondamentali è il fatto che siano spostate a scale di distanza sempre più lontane rispetto a quelle di cui abbiamo quotidiana percezione.

Questo fatto, estremamente interessante per sé, è denso di conseguenze ed è utile cercare di quantificarlo. Se la distanza tipica di cui abbiamo percezione diretta è dell'ordine del metro per gli oggetti che possiamo maneggiare e dell'ordine del millimetro per gli oggetti che possiamo vedere a occhio nudo, investigare oggi la struttura della materia significa essere capaci di studiare distanze circa 15 ordini di grandezza più piccole (ossia un milionesimo di un miliardesimo di volte), mentre lo studio del nostro universo richiede di investigare regioni di miliardi di anni luce, 25 ordini di grandezza (ossia dieci milioni di miliardi di miliardi di volte) più grandi di un metro.

È proprio questa grande lontananza delle scale di distanze che si vogliono studiare l'origine di quello che viene definito come "gigantismo" nelle scienze fondamentali moderne, e che cercheremo di discutere con qualche dettaglio.

Questo concetto è illustrato graficamente in Figura 1, dove la grandezza degli apparati di misura

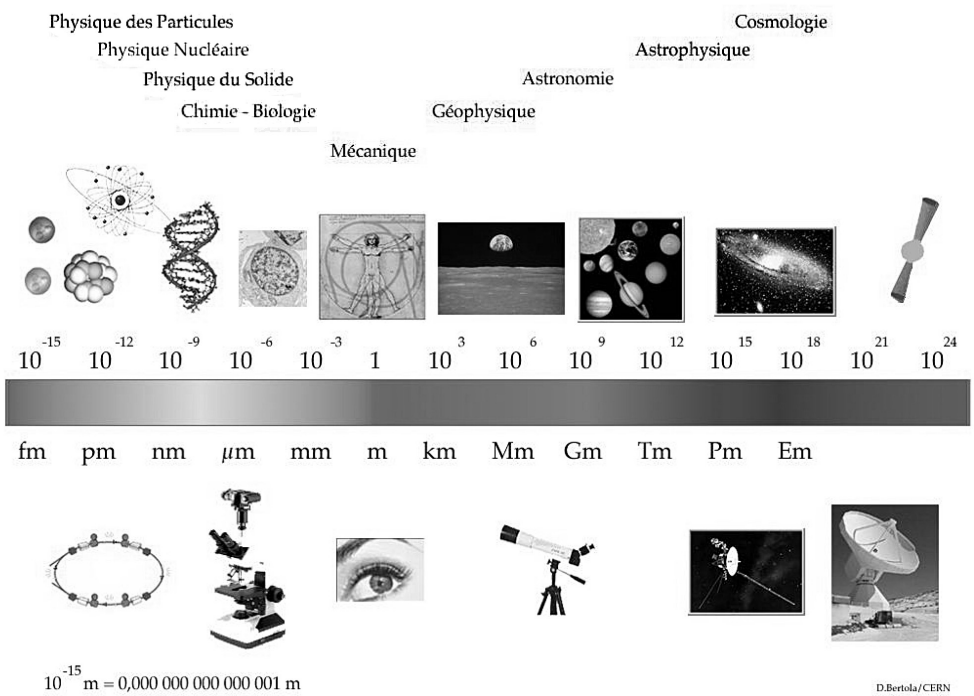


Fig. 1. La Big Science e le scale di distanza.

è messa in relazione con le distanze in gioco per alcuni esempi specifici in fisica delle particelle e in fisica del cosmo che discuteremo brevemente nel seguito. Per grandissime e piccolissime distanze si ha bisogno di apparecchiature sempre più sofisticate. Si parla spesso di "*Big Science*", ad indicare scienze che necessitano di apparecchiature così grandi e complesse d'aver bisogno non solo del coinvolgimento di grandi gruppi di scienziati e tecnici per farle funzionare, ma anche di finanziamenti così importanti da dovere essere condivisi tra più nazioni.

La necessità della *Big Science* si può spiegare in modo facilmente comprensibile per la fisica dell'infinitamente piccolo utilizzando un'analogia con l'ottica. L'occhio umano percepisce gli oggetti "rilevando" la luce da essi riflessa. Esso può risolvere particolari ad una distanza superiore o confrontabile con la lunghezza d'onda della luce incidente. Quando si vuole andare a distanze più piccole di quelle permesse dalle lunghezze d'onda della luce nel visibile, occorre quindi usare una sorgente di radiazione elettromagnetica a più alta energia (cioè a più piccola lunghezza d'onda, come per esempio i raggi X), e sostituire l'occhio umano con macchine sensibili a quel tipo di radiazione. Se si suppone di spingere lo studio fino a distanze confrontabili con le dimensioni di un atomo, o di una sua particella costituente, è la meccanica quantistica a suggerire di usare altre particelle come sonde. Infatti, secondo la meccanica quantistica, ogni particella si comporta, a brevissime distanze, come un'onda la cui lunghezza è inversamente proporzionale alla sua energia (come per la luce). Quindi più alta l'energia delle particelle incidenti su un bersaglio del quale si vuole studiare la struttura, più piccoli i dettagli ai quali si sarà sensibili quando si andrà a rilevare le particelle prodotte dall'urto. Questo è il principio fisico di base per comprendere l'importanza degli acceleratori di particelle visti come grandi microscopi per lo studio delle piccolissime distanze. Sfortunatamente, accelerare particelle a grandi energie è molto costoso e richiede macchinari di dimensioni sempre più grandi che siano in grado di immagazzinarle e farle scontrare tra di loro, o contro un bersaglio fisso. I moderni acceleratori al *CERN* e al *Tevatron*, negli Stati Uniti, permettono di immagazzinare particelle mantenendole su orbite fisse mentre vengono accelerate. Esse sono raggruppate in fasci, che hanno dimensioni trasversali tipiche della sezione di un capello, accelerati fino a velocità prossime a quelle della luce. Gli acceleratori circolari permettono di fare avvenire centinaia di milioni di collisioni al secondo ad energie formidabili. Per prendere l'esempio dell'acceleratore *LHC*, durante ognuna di queste collisioni si possono generare temperature, per una brevissima frazione di secondo, anche miliardi di volte superiori alla temperatura del centro del Sole. Per questo motivo, sebbene la fisica delle particelle sugli acceleratori viene spesso indicata con il nome di fisica delle alte energie (o *High Energy Physics*) sarebbe più corretto chiamarla fisica delle alte concentrazioni di energia.

Proseguendo nell'analogia con l'ottica, è chiaro che, in un esperimento di fisica delle alte energie, il ruolo degli occhi umani deve essere preso da rivelatori in grado di poter rilevare le particelle prodotte nelle collisioni. Questi devono avere l'abilità di potere osservare particelle note o ignote, prodotte grazie alla conversione della grande energia disponibile in massa, e particelle stabili o instabili, in quest'ultimo caso ricostruendole dai loro prodotti di decadimento. Lo scopo di un rivelatore nel punto di collisione delle particelle consiste quindi nel memorizzare, come in una fotografia gigante, l'evento che si è prodotto, per poterlo poi studiare in dettaglio. Con una grande energia a disposizione vengono prodotte particelle molto veloci, per le quali sono necessari rivelatori sempre

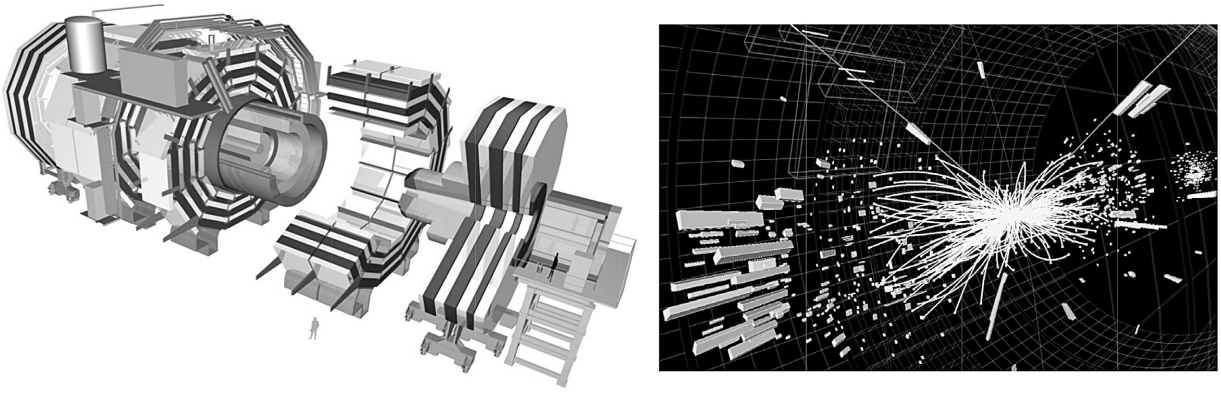


Fig. 2. L'apparato CMS al LHC e un suo evento.

più grandi per contenerle e studiarle. Rivelatori come *ATLAS* o *CMS* al *LHC* (Figura 2), che pesano più di diecimila tonnellate e hanno dimensioni di svariate decine di metri, possono essere quindi paragonati a macchine fotografiche gigantesche capaci di prendere una istantanea con una risoluzione di 75 milioni di pixel per ben 40 milioni di volte al secondo. Una di queste "fotografie" è mostrata in Figura 2. Incidentalmente, volumi di dati simili richiedono anche una rapidissima frequenza di trasferimento e di elaborazione che hanno comportato lo sviluppo di tecniche specifiche riguardo la distribuzione di dati e della loro analisi e che sono ora utilizzati in altri aspetti delle scienze applicate.

Sebbene ci si concentri, in questo articolo, sulle comunità della fisica delle alte energie al *LHC*, e senza dimenticare che altri acceleratori di grandi dimensioni sono stati operati al *CERN* come in altri laboratori, vi sono molti altri esempi nella fisica moderna in cui i grandi apparati della *Big Science* sono necessari. Per esempio, l'osservazione del cosmo implica la costruzione di grandi strutture già a livello della superficie terrestre, quali i radiotelescopi di dimensioni di centinaia di metri o strutture di antenne replicate su superfici di centinaia di chilometri quadrati. Il loro scopo è quello di potere osservare gli oggetti più lontani del nostro universo tramite la rivelazione della radiazione elettromagnetica da loro emessi. Una mappatura dettagliata del cielo si effettua poi direttamente con rivelatori in orbita, per non essere contaminati dai fenomeni di assorbimento e rifrazione dovuti alla presenza dell'atmosfera terrestre.

Un altro esempio di estrema attualità è rappresentato dalla ricerca di onde gravitazionali, che richiedono precisioni elevatissime per rivelare un segnale di distorsione dello spazio-tempo che viaggia alla velocità della luce. Questi esperimenti si basano sul principio di interferometria e richiedono enormi distanze: due interferometri di 4 Km costruiti a 3000 Km di distanza negli Stati Uniti sono stati capaci recentemente di mettere in evidenza un inequivocabile segnale di presenza di onde gravitazionali che hanno raggiunto la Terra e che hanno avuto origine provenienti dalla fusione di due buchi neri avvenuta 1.3 miliardi di anni fa.

Questi esempi testimoniano chiaramente di quanto siano necessarie grandi energie e grandi dimensioni ogni volta che si vogliano studiare fenomeni ad una scala molto piccola o ad una scala molto grande. Qualora questi fenomeni, sia a causa dell'enormità delle distanze o della debolezza delle interazioni che si studiano, portano a fenomeni rari, c'è un'altra forma di gigantismo che si manifesta, ossia quella delle grandi scale di tempi necessarie per portare a termine un'osservazione convincente. Si potrebbe riassumere dicendo che il gigantismo della scienza fondamentale non è nient'altro che la conseguenza di quanto la vita umana sulla Terra sia limitata, in spazio e in tempo, rispetto alla realtà dell'Universo.

Nel seguito di questo articolo verranno esaminati soprattutto gli aspetti organizzativi legati agli esperimenti di ultima generazione alla macchina *LHC* del *CERN* di Ginevra, esperimenti nei quali gli autori sono attivamente coinvolti.

I grandi laboratori, i numeri delle grandi Collaborazioni i tempi degli esperimenti

L'apparizione della *Big Science* nell'ambito della ricerca fondamentale ha implicato un cambiamento importante dell'organizzazione della ricerca scientifica, delle infrastrutture all'interno delle quali la ricerca viene portata avanti, del modo in cui la scienza e la ricerca scientifica viene realizzata. La crescente complessità della ricerca scientifica ha portato nel corso degli ultimi decenni ad una corrispondente crescita degli investimenti in Ricerca e Sviluppo (R&D). I finanziamenti destinati alla ricerca scientifica, espressi come percentuale sul prodotto interno lordo, dal 1980 fino ad oggi sono mostrati nella Figura 3 con alcuni paesi o gruppi di paesi (*OECD Total*) messi in evidenza. Gli investimenti in ricerca sono aumentati con lenta continuità passando, come esempio, da 1.7% al 2.4% per i paesi OECD[i] e dal 2.2 al 2.7% nel caso degli Stati Uniti. Ma la crescita è ancora più impressionante se la variazione viene data in valore assoluto, tenendo in conto l'aumento del prodotto interno lordo: i paesi OECD sono passati da 0.36 a 1.10 Miliardi di dollari americani mentre gli Stati Uniti sono passati da 0.15 a 0.43 Miliardi di dollari americani. Corrispondentemente il numero di ricercatori è passato da 4.3 a 7.8 per 10000 abitanti dei paesi OECD e da 5.3 a 8.7 per 10000 abitanti negli Stati Uniti nello stesso periodo di tempo.

Per relativizzare queste cifre in un contesto più ampio, in Tabella 1 vengono riassunti i costi di alcune iniziative di carattere scientifico che sono avvenute nel corso degli ultimi 80 anni circa, specificando i costi totali e i costi per anno. Il confronto mette immediatamente in prospettiva quanto gli investimenti in ricerca fondamentale siano poco confrontabili con altri che, sebbene coinvolgano tecnologie di punta, sono realizzati per applicazioni belliche. In particolare l'ultima linea riporta gli investimenti in ricerca e produzione applicata ai caccia da bombardamento "*Rafales*" francesi, ad oggi la punta dell'aviazione militare mondiale. Il paragone non solo non lascia dubbi

Tab. 1. Costi di grandi progetti scientifici confrontati con i costi di fabbricazione di aerei da guerra moderni.

Project	Total cost	Cost per year
Manhattan Project	24 billion $(*)	5 billion $
The Space Projects(1957-1975)	100 billion $(*)	5.5 billion $(*)
International Space Station (>30 years)	100 billion €(*)	2.5 billion €
Hubble Space Telescope (>20 years)	10 billion $(*)	0.5 billion $(*)
LHC (>10 years)	5 billion €(*)	0.5 billion €(*)
Progetto caccia "Rafales"(2010-2014*)	220 billion €	45 billion €

(*) *Fonte*: https://fr.wikipedia.org/wiki/Dassault_Rafale#Co.C3.BBt_du_programme_Rafale.

sull'enorme disparità di investimenti, ma è ancora più impietoso quando si riflette sul fatto che l'opera di ricerca fondamentale al *CERN* è frutto di una collaborazione mondiale, mentre l'esempio riportato deriva dagli investimenti di un solo paese.

La crescita delle comunità scientifiche che si raccolgono attorno a questi grandi esperimenti di *Big Science* ha portato ad una indiscutibile crescita a livello culturale, ma ha anche, inevitabilmente, richiesto nuovi meccanismi per la gestione dell'informazione e di coordinamento mai conosciuti prima. È cambiato il modo di fare ricerca, dalla discussione attorno ad un tavolo ad una organizzazione strutturata, codificata e talvolta regolata da accordi internazionali. E cambia il modo in cui la creatività del singolo ricercatore può esprimersi in una realtà complessa che per funzionare richiede un'organizzazione rigida. Questa strutturazione disciplinata di una grande comunità ha rappresentato in se stessa una sfida che i ricercatori hanno dovuto affrontare e risolvere attraverso l'esperienza di pochi decenni, diversamente da altre comunità tecniche e scientifiche di natura industriale o militare in cui le strutture organizzative sono state affinate ed ottimizzate nel corso di secoli di esperienza. La parte più

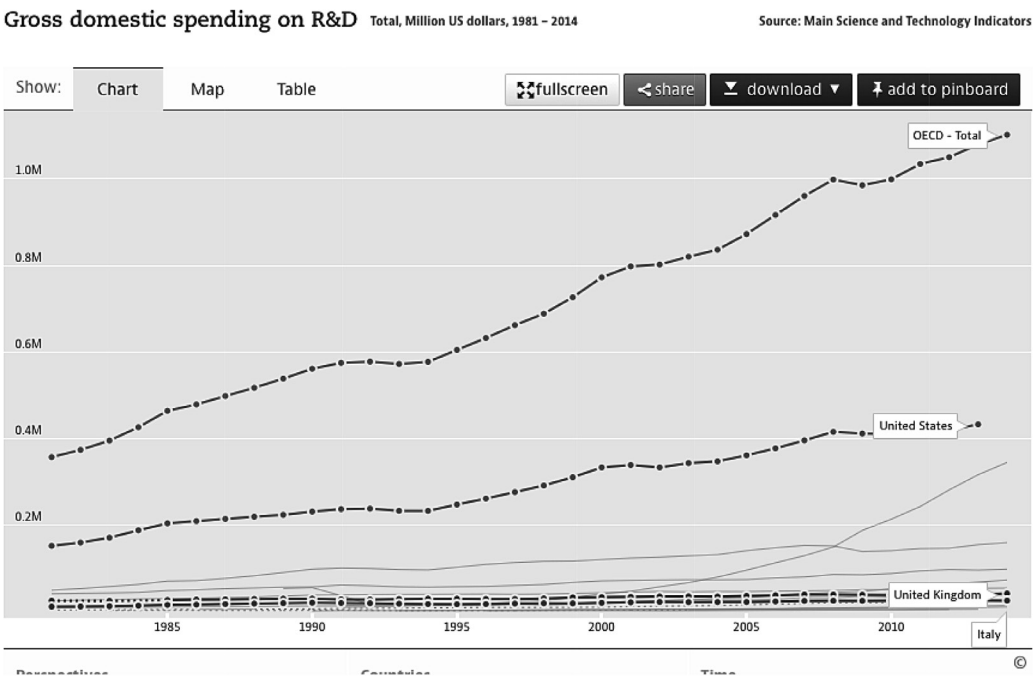


Fig. 3. Frazione di prodotto interno lordo, PIL, investito in ricerca in alcuni paesi o gruppi di paesi dal 1980 ad oggi.

difficile di questa sfida è forse rappresentata dal fatto che il lavoro di ricerca, motivato alla base da iniziative spontanee e da un investimento personale volontario, debba essere codificato e canalizzato in modo da coprire tutti quegli aspetti necessari al funzionamento di macchine di una complessità incredibile.

Per discutere i dettagli dell'organizzazione di una di queste grandi strutture prenderemo come esempio quello di due delle grandi collaborazioni al *LHC*, come *ATLAS*[2] o *CMS*. Gli addetti ai lavori definiscono spesso queste grandi imprese come "esperimenti", con un'accezione che ha un significato molto diverso da quello della vita comune. Un esperimento non è più una singola misura di fisica, bensì l'apparato stesso, e va piuttosto inteso come strumento generalista che consenta, nel caso del *LHC*, qualunque tipo di studio di fisica delle particelle elementari e che sia sensibile a fenomeni fisici attesi ma anche a quelli che a priori non possono essere previsti.

Un colpo d'occhio sui numeri delle collaborazioni di fisica delle alte energie è mostrato in Tabella 2. Nella tabella sono mostrati, con una scelta totalmente arbitraria, il numero di partecipanti e di istituti coinvolti in esperimenti degli ultimi 50 anni. La Tabella copre quasi 5 decenni di storia e mostra come il gigantismo di queste collaborazioni si sia sviluppato con continuità nel corso del tempo. L'enorme cambiamento si apprezza semplicemente riflettendo sul fatto che il numero di persone che contribuivano ad un esperimento negli anni 70 corrisponde oggi al numero di nazioni coinvolte.

Per apprezzare come la creazione di simili imprese si possa realizzare nel tempo, è interessante descrivere brevemente i documenti formali che precedono e accompagnano la nascita di una grande collaborazione come *ATLAS* o *CMS* al *CERN*. Il primo passo è la redazione di una "*Letter of Intent*", indicata con *LoI*, con la quale un gruppo di ricercatori manifesta l'intenzione di dar vita ad una comunità per la costruzione di un nuovo esperimento. Nel caso di *ATLAS* e *CMS* la *LoI* è sottoposta ad un comitato *CERN*, definito dall'acronimo *LHCC (LHC Experiment Committee)*, incaricato di selezionare gli esperimenti da approvare e di supervisionarne poi l'evoluzione in termini di realizzazione, installazione e aggiornamento. Nel caso dell'esperimento *ATLAS* la *LoI* consiste di un documento di 120 pagine, sottomesso nel 1992, nel quale viene dettagliatamente descritta la struttura dell'esperimento, le soluzioni tecniche da adottare e una raccolta degli studi di fisica che possono essere svolti. Non ultimo, la *LoI* contiene una stima dei costi dell'esperimento ed è un documento formale con il quale rappresentanti di vari istituti e le Agenzie finanziatrici dei vari paesi si impegnano, in caso di approvazione, a finanziare il costo della costruzione e a mettere nei bilanci di previsione i costi di funzionamento per diversi anni. Il comitato *LHCC* ha scelto nel 1994 quali esperimenti approvare e le collaborazioni approvate hanno, da quella data, iniziato un lungo lavoro di sviluppo e ricerca, di prototipizzazione e di ingegnerizzazione degli esperimenti.

I documenti formali sui quali si basa l'organizzazione di queste grandi comunità scientifiche, generalmente indicati con *Memorandum of understanding (MoU)*, vengono approvati dalle istituzioni nazionali e dal laboratorio ospitante, e descrivono la suddivisione dei costi e delle responsabilità dei vari paesi partecipanti all'esperimento in maniera più dettagliata rispetto alla *LoI*. Le agenzie nazionali, oltre al sostegno economico per le spese comuni legate alla costruzione dell'esperimento, sostengono anche gli studi legati alla realizzazione in scala progressivamente più grande di prototipi di quelle parti di rivelatore che si sono impegnati a costruire. L'ultimo documento di natura tecnico-scientifica che le collaborazioni approvate devono preparare perché

Tab. 2. I numeri di collaborazioni di fisica delle alte energie.

Esperimento	Gargamelle	Charm	UA1	UA2	Delphi	Babar	ATLAS	CMS
Periodo di attività	1970-1976	1978-1984	1981-1990	1981-1990	1989-2000	1998-2008	2008 --	2008 --
Numero di fisici (studenti)	55	42	190	80	550	284	2850 (1000)	2680 (891)
Ingegneri								859
Tecnici								281
Numero di Istituti	7	5	22	9	54	88	174	182
Numero di Nazioni							38	42

sia approvato da organismi terzi è il *TDR*, acronimo per *Technical Design Report*. Questo documento descrive dettagliatamente gli aspetti tecnici e le soluzione tecnologiche usate per l'esperimento nella versione finale che si è deciso di adottare. Nel caso degli esperimenti *LHC* questo progetto dettagliato è stato sottoposto al vaglio del *LHCC* nel 1998, 6 anni dopo la *LoI*. Nel caso dell'esperimento *ATLAS* il documento *TDR* consiste di circa 1000 pagine, ed è stato firmato da circa 1800 fisici.

Il costo della costruzione e dello sfruttamento di un esperimento di queste dimensioni è tale che la durata dell'esperimento deve inevitabilmente prolungarsi per un periodo di molti anni. Questo implica che la scelta di alcune soluzioni tecniche viene posposta fino all'ultimo momento possibile per evitare che tecnologie scelte troppo prematuramente siano già obsolete nella fase iniziale dell'esperimento.

La costruzione degli esperimenti di fisica delle alte energie ha aspetti totalmente unici. La parte di sviluppo di una tecnologia e prototipizzazione dei rivelatori avviene negli istituti che fanno parte della collaborazione: non esistendo rivelatori già disponibili sul mercato tutto viene sviluppato, spesso in collaborazione con industrie *high-tech*, dai ricercatori e tecnologi dell'esperimento. La parte successiva agli studi di ricerca e sviluppo, cioè quella della produzione in serie, è condivisa con diverse industrie alle quali viene affidata la produzione di componenti necessarie alla realizzazione dei vari rivelatori. I test di qualità, di accettazione delle componenti, nonché l'assemblaggio del rivelatore e la certificazione del suo funzionamento dopo l'assemblaggio, vengono realizzati interamente nei laboratori di decine di istituti di ricerca e universitari e nelle grandi infrastrutture di alcuni laboratori nazionali dove disponibili. Va anche posto l'accento che l'installazione di questi esperimenti è così complessa (della durata di alcuni anni) che, una volta assemblato, l'esperimento diventa di fatto inaccessibile ed è impensabile intervenire in tempi brevi per riparare eventuali malfunzionamenti che dovessero manifestarsi durante la fase di operazione. Siccome ogni intervento richiede lunghi tempi di accesso, la macchina acceleratrice, sulla quale gli esperimenti sono installati, programma, con anticipo di anni, dei periodi di interruzione di attività durante i quali si possa intervenire per eventuali riparazioni, manutenzioni o aggiornamenti della macchina stessa e degli esperimenti. Il periodo di funzionamento normale dell'acceleratore, della durata di circa 8 mesi per anno solare e coincidenti con i mesi più caldi per minimizzare i consumi di potenza elettrica, si alterna a periodi di sospensione di pochi mesi nei quali possono invece essere realizzati alcuni interventi minori che non prevedono l'apertura dell'esperimento ma solo accessi limitati alle parti più esterne. Nella Figura 4 viene mostrato, in maniera semplificata, il *cursus* temporale di un esperimento al *LHC*. Si estende su molti decenni e comprende diverse fasi caratteristiche, ciascuna lunga circa una decina di anni: dieci anni per concepirlo, dieci anni per costruirlo, una presa dati prevista di circa venti anni con interruzioni di due o tre anni per interventi di manutenzione e/o aggiornamento del rivelatore. Questa stessa tabella di marcia deve essere anch'essa progettata, tipicamente, con decine di anni di anticipo.

Una riflessione immediata suggerita dalla Figura 4 è che la vita di un esperimento si estende su così tanti anni che, oramai, un ricercatore potrebbe svolgere tutta la sua carriera all'interno di uno solo di questi esperimenti. Quando questo succede, ciò che accade in pratica è che, nel corso degli anni, il profilo e l'attività di una persona cambia in modo tale da coprire interessi e necessità continuamente diverse, anche se sempre applicate al medesimo esperimento.

I grandi numeri delle moderne collaborazioni hanno come immediato riflesso un corrispondente costo. Come abbiamo descritto, per queste collaborazioni a livello mondiale, tutto avviene attraverso accordi internazionali che vengono firmati tra le agenzie finanziatrici dei vari paesi e il paese o l'istituzione che ospita l'esperimento o l'infrastruttura di ricerca. Nel

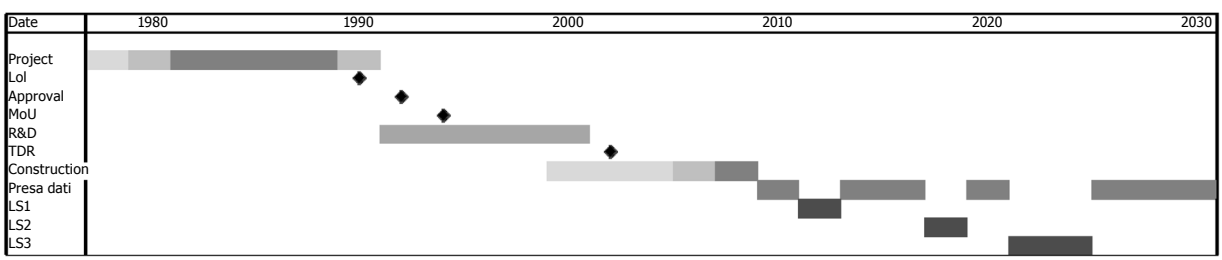


Fig. 4. La scala di tempi di un esperimento al LHC.

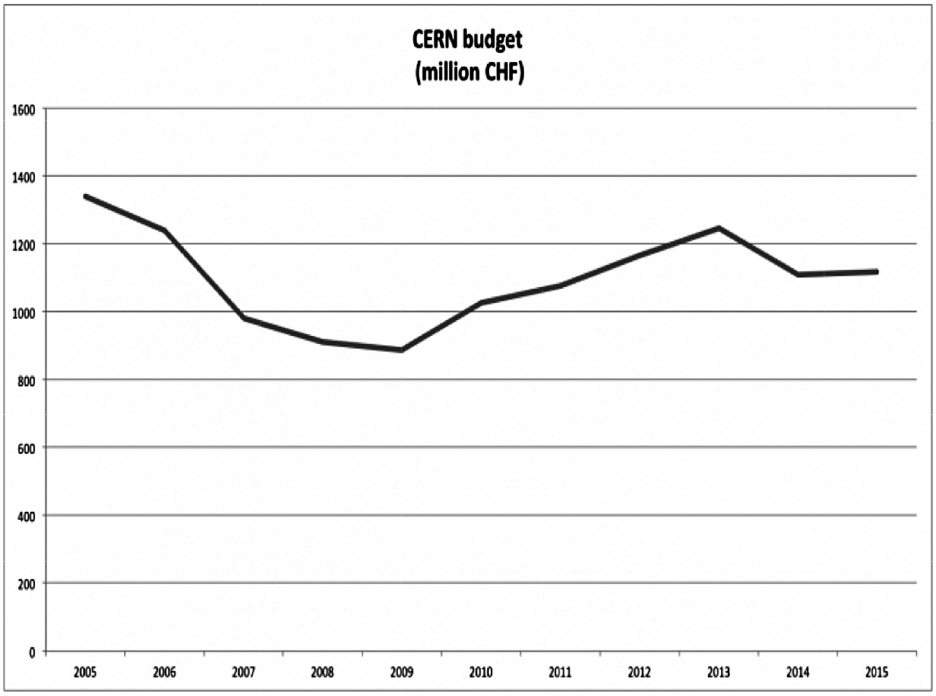


Fig. 5. Bilancio del CERN negli anni 2005-2015.

caso degli esperimenti al *LHC* l'istituzione ospitante è ovviamente il *CERN*.

Il bilancio del *CERN* è mostrato nella Figura 5 per gli anni 200-2015 in milioni di franchi svizzeri (MCHF). L'andamento mostra importanti variazioni nel corso degli anni che riflettono l'impegno del *CERN* nella costruzione del *LHC* tra un minimo di 900 MCHF nel 2009 e 1400 MCHF nel 2005 nel pieno della costruzione della macchina acceleratrice. Il costo totale per la costruzione della macchina, integrato su molti anni, è stato pari a 4980 MCHF di cui ¼ per personale e ¾ per materiale. La parte del costo investito in materiale è stato speso in commesse ad industrie *high-tech*, quasi sempre coinvolte nello sviluppo iniziale delle tecnologie usate per l'acceleratore e per gli esperimenti. Si fa molta attenzione a mantenere un corretto bilancio tra i finanziamenti di un dato paese e le commesse che ritornano in quel paese. Quello che una agenzia nazionale investe torna con ottima approssimazione nelle industrie avanzate del paese. Va anche considerato il costo del funzionamento della macchina acceleratrice *LHC* che è pari a 1100 MCHF per anno negli anni 2009-2012, corrispondente ad una frazione di circa l'80% del budget totale del *CERN*. Nel periodo di interruzione della macchina il costo dei lavori di manutenzione di tutto il complesso di acceleratori del *CERN* è stato pari a circa 150 MCHF.

Il *CERN* ha anche contribuito, come istituto partecipante alle collaborazioni del *LHC*, alla costruzione di parte dei rivelatori dei diversi esperimenti con una somma pari a 1360 MCHF, pari a circa il 20% del costo totale. Ha inoltre partecipato alla infrastruttura di calcolo con 168 MCHF. Il totale dell'investimento del *CERN* nella costruzione del *LHC* è stata pari a un totale di 6500 MCHF quando vengono incluse anche le spese per le infrastrutture. Le spese totali dell'esperimento *CMS* previste per i costi di mantenimento anno 2016 sono pari a 18,9 MCHF, cifra dello stesso ordine di grandezza di *ATLAS*.

L'organismo fondamentale per seguire le spese associate a questi giganteschi rivelatori è il *Resources Review Board (RRB)*, un comitato del *CERN* formato da rappresentanti delle agenzie finanziatrici nazionali, del *CERN* stesso e delle collaborazioni ed è coordinato dal Direttore della Ricerca del *CERN*. Questo organismo è particolarmente importante ed ha un mandato che evolve di pari passo con le diverse fasi degli esperimenti e comprende la discussione e l'approvazione del *MoU* presentato dagli esperimenti (nella fase iniziale di una collaborazione), il monitoraggio degli esperimenti e del modo in cui le risorse economiche messe a disposizione dalle Agenzie vengono spese, tanto per spese eccezionali degli esperimenti quanto per quelle di manutenzione ordinaria. Gli esperimenti sono tenuti a presentare rapporti a questo comitato ed hanno bisogno dell'approvazione

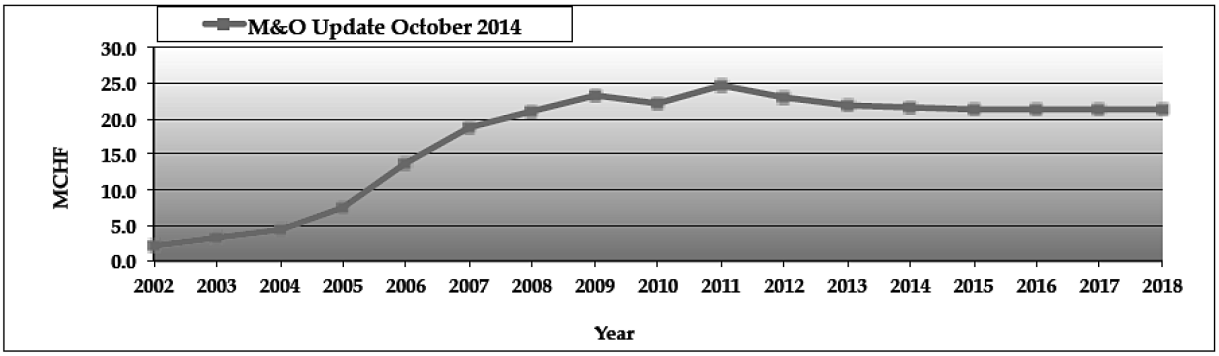


Fig. 6. Spese di manutenzione ordinarie dell'esperimento ATLAS in MCHF per gli anni dal 2002 al 2018.

e della ratifica di praticamente tutti gli aspetti della vita di un esperimento.

Le spese di manutenzione ordinaria di un esperimento sono particolarmente importanti e vengono finanziate dalle agenzie finanziatrici dell'esperimento in proporzione al numero di firmatari (studenti, Ph.D. esclusi) di una certa nazionalità. Queste spese, dette *Maintenance and Operation (M&O)*, sono divise in due categorie, tipo A e B. Nella prima categoria vengono incluse le spese di carattere generale e che non possono essere ricondotte ad un singolo rivelatore: spese legate alla sicurezza dell'esperimento, ai costi del sistema di raffreddamento (aspetto fondamentale negli esperimenti moderni), alle infrastrutture di calcolo, al mantenimento di laboratori, al consumo di energia, ai contratti temporanei legati ad attività specifiche non coperte dagli istituti nazionali. La seconda categoria di costi ordinari è invece legata al singolo rivelatore dell'esperimento. La Figura 6 mostra l'evoluzione del M&O negli anni dal 2002 al 2018 dell'esperimento *ATLAS*. Le cifre sono certamente importanti, nel 2015 la somma delle spese di tipo A e di tipo B ammonta a 21.3 MCHF totali ripartiti in misura di 16.8 MCHF e 4.5 MCHF per le spese di tipo A e B rispettivamente. Queste sono ripartite tra i firmatari delle pubblicazioni dell'esperimento (circa 1800 quando non sono inclusi gli studenti) e corrispondono a un costo di circa 10 KCHF per ogni firmatario. L'Italia contribuisce al circa il 10% delle spese totali di *M&O*. Benché queste spese siano in assoluto molto importanti, esse rappresentano percentualmente una cifra molto piccola rispetto al costo totale dell'esperimento.

Strutture di coordinamento: approccio storico di autogestione di un organismo internazionale

Nelle collaborazioni scientifiche in fisica fondamentale degli anni 70 la struttura organizzativa era assai limitata. Sebbene il responsabile di un esperimento fosse chiaramente identificato, non v'erano ancora regole e strutture chiare per la nomina ad altre responsabilità o per la durata dei mandati. Le collaborazioni si riunivano poche volte all'anno, in riunioni fatte di persona e la maggior parte della vita dell'esperimento si svolgeva presso l'istituzione ospitante. Anche il lavoro di analisi dei dati, oggi totalmente delocalizzato grazie a internet e alla griglia di calcolo, era quasi totalmente concentrato nel laboratorio ospitante con risorse di calcolo negli istituti della collaborazione praticamente inesistenti.

Gli esperimenti *UA1* e *UA2* al *CERN* negli anni '80 hanno rappresentato una fase intermedia, ma il vero salto verso la *Big Science* in fisica delle particelle elementari si è registrato con le grandi collaborazioni costruite attorno all'acceleratore *LEP* di elettroni e positroni, sempre al *CERN*, attive nell'ultimo decennio dello scorso secolo. In questi esperimenti la dimensione della collaborazione raggiunge un livello tale da richiedere, per la prima volta, una forte struttura organizzativa che si concretizza in un certo numero di strutture, di corpi operativi, che vengono sommariamente mostrati nella Figura 7 per l'esperimento *DELPHI*, uno dei quattro costruiti sull'anello acceleratore del *LEP*, al quale entrambi gli autori di questo articolo hanno avuto l'onore di partecipare.

La tipica collaborazione al *LEP* rimane incentrata attorno alla figura del portavoce dell'esperimento, lo *Spokeperson*, cui fanno capo diversi corpi con funzionalità e poteri diversi. Il più importante, nonché il più rilevante politicamente, è il *Collaboration Board*, nel quale ogni istituto è presente con un delegato e all'interno del quale vengono discussi tutti gli aspetti organizzativi di alto livello e la politica scientifica dell'esperimento. Elegge lo *Spokeperson* e le figure operative più rilevanti. Lo *Spokeperson* è affiancato da una giunta esecutiva, da un pannello tecnico, da un gruppo di coordinatori dell'analisi e del *software*

dell'esperimento. La vita collettiva della collaborazione al *LEP* ruota attorno a riunioni periodiche di due tipi che si alternano con una frequenza tipica di una ogni due mesi: riunioni di collaborazione che coprono tutti gli aspetti dell'esperimento (tecnici, organizzativi, politici, e ovviamente discussione dei risultati delle analisi dei dati) e riunioni di analisi nel corso delle quali sono presentati solo risultati di vari studi di fisica. Il *Collaboration Board* si riunisce ogni settimana di collaborazione. È durante il periodo del *LEP* che internet entra prepotentemente nella vita dei ricercatori e la posta elettronica sostituisce completamente il telefono, anche se il tempo delle riunioni telematiche deve ancora arrivare. È un bel ricordo la prima riunione di collaborazione che si tenne a Delphi[3], in Grecia. La cosa nacque prima dell'approvazione da parte del *CERN* quando i primi firmatari della collaborazione, dopo aver sottoposto la proposta tecnica di esperimento al comitato del *CERN* che avrebbe dovuto sceglierne 4 dei 6 che si erano fatti avanti, decise, quasi una scommessa, che se l'esperimento fosse stato scelto si sarebbero riuniti, per assonanza, per la prima volta proprio a Delphi, in Grecia. E alcune delle riunioni si tennero, simbolicamente, nell'anfiteatro dell'oracolo. Anche il logo dell'esperimento venne deciso nel corso di una delle prime riunioni del *Collaboration Board* nel corso di una votazione. Il "delfino" vinse e rimase per sempre ad indicare la collaborazione e l'esperimento.

Mentre gli esperimenti al *LEP* erano in piena attività, nel corso degli anni 1990, si formano nuove collaborazioni attorno alla macchina acceleratrice del *CERN*, al tempo in fase di progettazione, ideata per succedere e sostituirsi al *LEP*: l'*LHC*.

Questa nuova generazione di esperimenti raggiunge dimensioni e complessità ancora più grandi e tutta la struttura organizzativa appena descritta si complica e si arricchisce. Nella Figura 8 viene mostrata l'organigramma delle strutture di coordinamento degli esperimenti *ATLAS* e *CMS*, come esempio. Seppure i ruoli fondamentali del management siano circa gli stessi che compaiono nella struttura degli esperimenti al *LEP*, il cambiamento fondamentale è che la complessità dell'apparato cambia a tutte le scale: mentre il mandato di un ruolo rimane sostanzialmente lo stesso, spesso ad una casella non corrisponde più una singola figura ma un gruppo di persone più o meno piccolo che segue quel tipo di attività.

Nuove strutture organizzative devono quindi nascere, ciascuna delle quali corrisponde ad una necessità tecnica dell'esperimento: dal complesso dei rivelatori, alla scrittura dei programmi di acquisizione dati, alla gestione dei programmi di analisi dati, ai vari studi di fisica. Cercheremo di dare un'idea

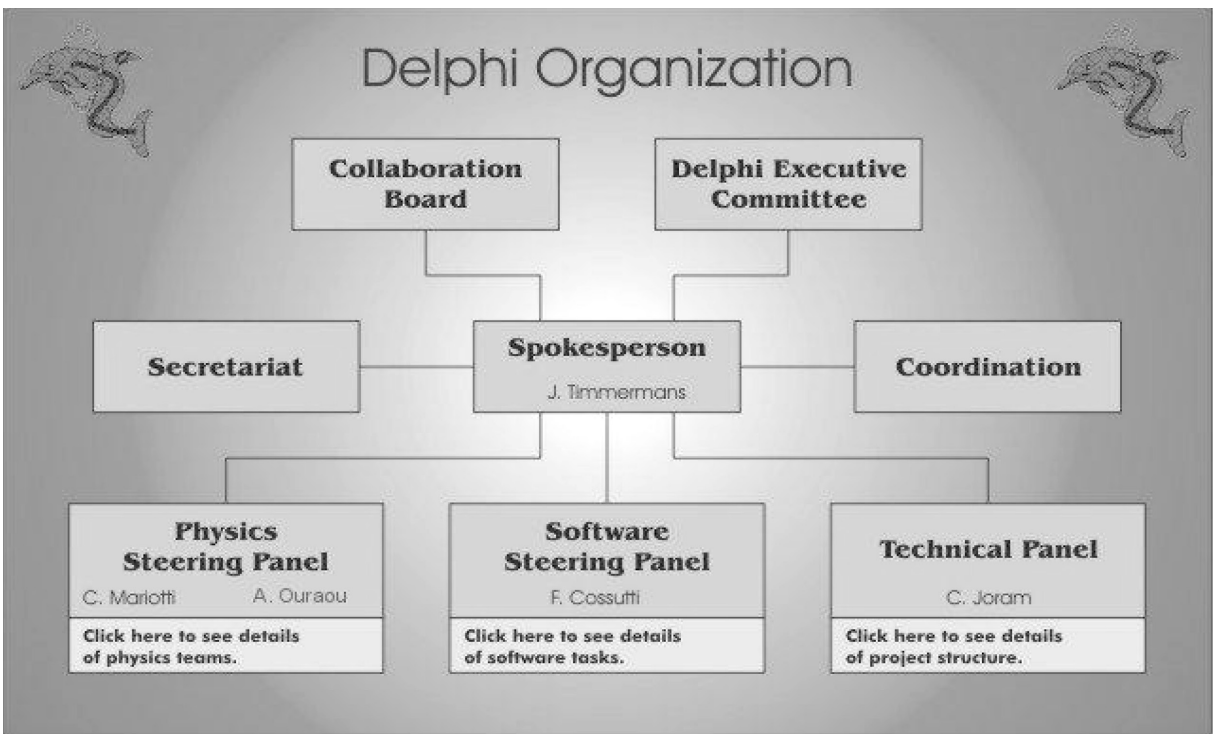


Fig. 7. La struttura organizzativa dell'esperimento DELPHI.

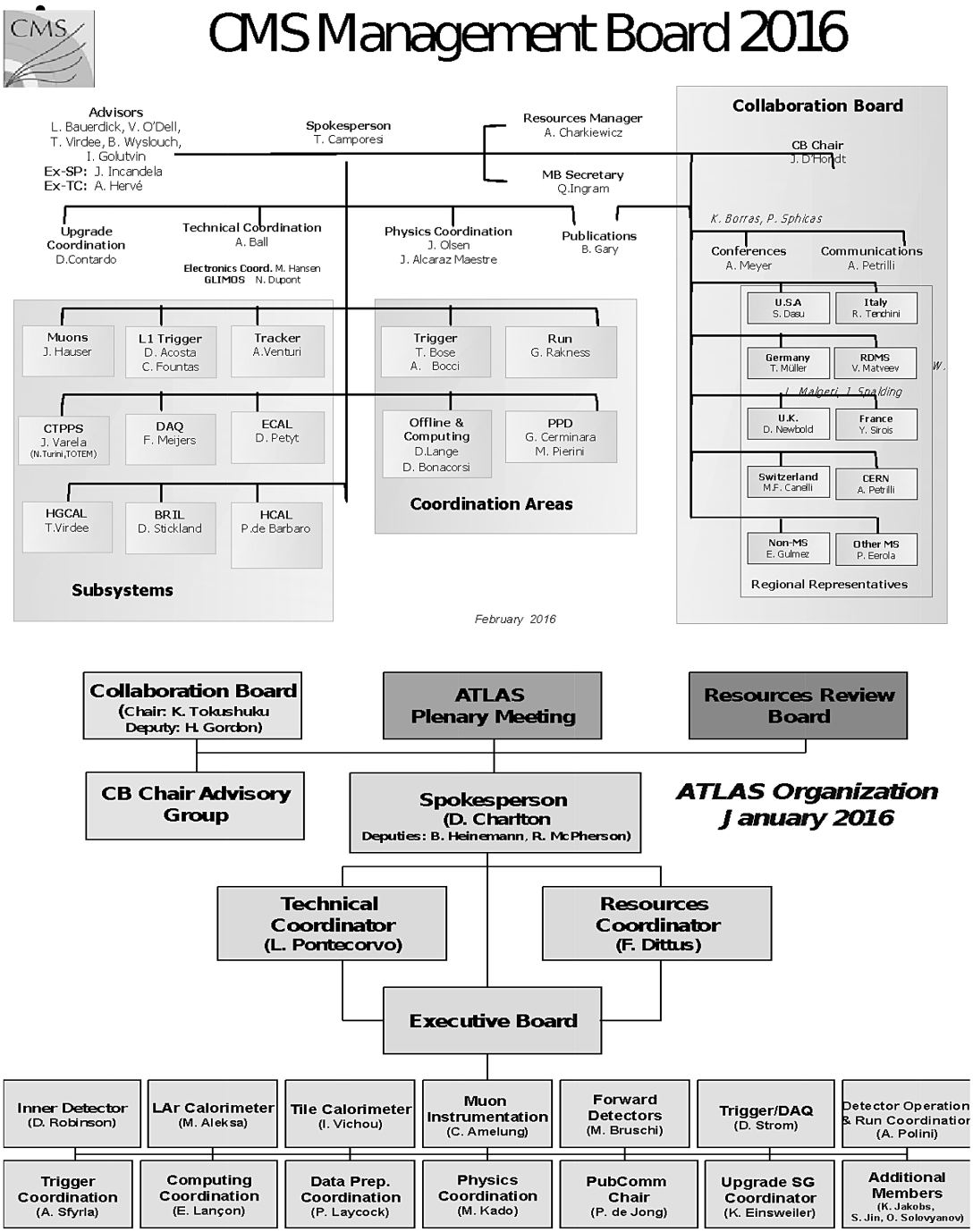


Fig. 8. Struttura organizzativa delle collaborazioni ATLAS e CMS.

sommaria della complessità racchiusa in ognuna di queste tematiche.

I rivelatori devono essere pienamente operativi in fase di presa dati e mantenuti in condizioni ottimali di funzionamento. Eventuali problematiche dovute all'invecchiamento dei componenti devono essere continuamente monitorate e la loro funzionalità, per quanto possibile, mantenuta al massimo livello. Nello stesso tempo occorre continuare una linea di sviluppo e ricerca mirata ad una futura sostituzione, parziale o completa, di un rivelatore o di una sua parte attraverso il ricorso a tecnologia più moderna di quella che è

stata usata al momento della costruzione e dell'installazione.

Vengono poi gli aspetti legati allo sviluppo del *software* necessario tanto all'acquisizione dei dati quanto sulla gestione, l'immagazzinamento e l'analisi della gigantesca mole di informazioni prodotte dall'esperimento. La parte "*on-line*" del *software* consiste nel memorizzare le "fotografie" generate delle collisioni all'interno dell'acceleratore attraverso un colloquio estremamente complesso tra i calcolatori che interfacciano le diverse parti di cui il rivelatore è composto. L'immagazzinamento di queste informazioni viene controllato da programmi molto sofisticati che sono eseguiti in tempo reale durante il funzionamento dell'acceleratore. La parte "*off-line*" riguarda invece l'elaborazione delle immagini raccolte dai singoli rivelatori per ricostruire quello che si chiama un "evento" di fisica, ciascuno dei quali rappresenta una singola collisione, per poterlo poi tradurre in quantità fisiche fruibili dai ricercatori che si occupano delle analisi dei dati. La ricostruzione di un evento si basa quindi sulla messa in corrispondenza delle informazioni provenienti da ogni singolo sotto-rivelatore di cui l'esperimento è composto.

Per ciascuna di queste fasi esistono gruppi di raccordo e coordinamento formati da diverse persone. In genere a capo di questi gruppi di lavoro, siano essi di analisi, di rivelatore, di *on-line o off-line*, c'è una persona di riferimento, un coordinatore, che viene identificato attraverso meccanismi che sono sempre basati sull'individuazione di persone riconosciute dalla comunità come dotate di altissima professionalità e competenza. Le persone sono scelte tra quelle che hanno contribuito in maniera rilevante al progresso dei lavori nel passato recente delle attività di un gruppo. Il tipo di lavoro che si richiede ai coordinatori è dettato dalla necessità di seguire attività talmente diversificate e complesse da lasciare poco spazio alle funzioni che prima poteva svolgere in prima persona. La capacità di relazione, di ascoltare e capire il dialogo scientifico e tecnico che avviene all'interno dei gruppi è molto importante nel lavoro del coordinatore e una parte importante del suo tempo va nella gestione di risorse umane e nella diffusione delle informazioni. Il meccanismo di scelta della persona dipende molto dalla importanza del ruolo e si passa da forme di cooptazione, per attività molto specialistiche, a meccanismi basati su nomine per ruoli più importanti. In questo secondo caso, la scelta avviene attraverso indicazioni inviate da parte della comunità di riferimento ad un comitato di persone preposto alla scelta finale, che presenterà la sua proposta al *Collaboration Board* per essere approvata o, eventualmente, ridiscussa. Il lavoro di indagine e sondaggio presso le comunità di riferimento viene svolto o direttamente dal *management* dell'esperimento o da un gruppo di persone espressamente delegato, il *search committee*. Spesso, contrariamente a quello che avviene in altre organizzazioni scientifiche, l'età delle persone alle quali è affidato un lavoro di coordinamento non ha un grande peso nella scelta. Non è raro trovare gruppi di lavoro dove i responsabili sono significativamente più giovani di molti degli altri membri del gruppo senza che questo abbia impatto sulla funzionalità del gruppo, o intacchi lo spirito di collaborazione.

Il management di un esperimento al *LHC* è strutturato in organismi con ruoli di due tipi diversi: di indirizzo di politica scientifica ed esecutivo. La componente più importante del primo gruppo di organismi è il *Collaboration Board*, che ha esattamente le stesse funzioni che aveva al *LEP*. Il Collaboration Board si riunisce nelle settimane specificatamente dedicate a riunioni plenarie della collaborazione, tipicamente 4 volte all'anno, ed è la struttura con il maggior potere politico dell'esperimento.

Altre strutture operative affiancano lo *Spokeperson*: il *Technical Coordination* che ha la supervisione degli aspetti tecnici di tutto l'esperimento, il *Resource Coordination* con il controllo e monitoraggio degli aspetti economici, il *Physics Coordination* che soprassiede agli aspetti legati ai risultati di fisica. In ultimo, e probabilmente il vero cuore della collaborazione, l'insieme dei sottosistemi: ogni rivelatore dell'esperimento corrisponde a una comunità con una struttura interna basata su *Detector Institute Board* con la responsabilità di prendere decisioni sulle maggiori scelte tecniche e sulla suddivisione delle risorse e delle responsabilità. Ogni sottosistema è anch'esso coordinato e rappresentato da un *Project Leader*. Il raccordo tra il *management* e tutte le strutture brevemente descritte è *l'Executive Board* nel quale sono rappresentati tutti gli organismi della Collaborazione.

Come si capisce da questa breve descrizione, il coordinamento di un esperimento di fisica delle alte energie è complesso al punto di non avere nulla da invidiare all'organizzazione di una industria, con la complicazione di essere una cooperazione su scala mondiale e non locale, il che aggiunge una complessità logistica decisamente maggiore, soprattutto per quanto riguarda la gestione delle riunioni e la circolazione di informazioni.

Se agli albori della fisica delle particelle le riunioni avvenivano di persona in sale riunioni di modeste dimensioni, con le collaborazioni di oggi che sono composte da migliaia di persone, ciò non è naturalmente più possibile. Questo problema è stato ben risolto sfruttando l'aumento rapidissimo delle risorse di calcolo e di connessione a distanza, il che ha reso pos-

sibile il ricorso a riunioni telematiche in modo diffuso. La quasi totalità delle riunioni delle collaborazioni *ATLAS* e *CMS* avviene oramai con l'ausilio di computer connessi in rete e programmi (commerciali, ma scelti dal *CERN* che ne sostiene i costi e ne controlla il funzionamento) che consentono il collegamento e l'interazione contemporanea di centinaia di persone alla medesima riunione. L'agenda della riunione è caricata su una pagina internet dedicata allo scopo, così come ogni intervento dei diversi oratori: la presentazione viene proiettata in tempo reale (tipicamente dal *CERN*, dove vi sono il più grande numero di presenti), insieme al video della sala di riunioni. Le persone connesse, spesso più numerose di coloro che si trovano al *CERN*, possono intervenire in ogni momento nella discussione, porre domande o, eventualmente, presentare materiale a loro volta.

Sebbene il contatto umano in persona non possa essere sostituibile, questo cambiamento radicale del modo di organizzare riunioni ha segnato un grande passo avanti nell'efficienza logistica delle grandi collaborazioni, evitando in particolare molti viaggi che sarebbero altrimenti stati necessari. È forse la semplicità di organizzare una riunione che permette oggi a queste collaborazioni di avere svariate riunioni a cadenza giornaliera: sebbene ciò rappresenti un impegno costante dei partecipanti e dei responsabili di gruppo, permette di avere un livello di coinvolgimento e di sintonia altrimenti impossibile da raggiungere in un esperimento di *Big Science*. Un aspetto interessante delle riunioni di collaborazioni su scala mondiale è che diventa spesso difficile l'individuazione di possibili orari per le riunioni: non è raro dovere coinvolgere nella discussione persone che stanno agli antipodi (per esempio Europa, Stati Uniti, Cina e Australia) ed in questi casi è d'obbligo scegliere un orario che minimizzi il disagio e tenga in conto i diversi fusi orari. Qualcuno dovrà comunque stare alzato fino alla tarda serata o alzarsi all'alba.

L'organizzazione della produzione scientifica degli esperimenti al LHC

La ragion d'essere della ricerca fondamentale è di produrre conoscenza, e di documentarla in modo tale che sia disponibile a tutti. Non esistono infatti diritti di autore per una scoperta scientifica, e l'accesso alla conoscenza deve rimanere aperto a chiunque vi sia interessato. I risultati di un esperimento come quelli al *LHC* sono pubblicati su riviste internazionali (molte delle quali oramai *on-line*) dopo un attentissimo vaglio da parte delle stesse collaborazioni. In quanto segue ci interesseremo alla descrizione del percorso di uno studio in uno di questi grandi esperimenti, dalla sua concezione alla sua pubblicazione, indicando in breve i complessi sistemi di revisione interna che le collaborazioni al LHC hanno dovuto e saputo mettere in atto.

Per poterlo fare occorre innanzitutto illustrare come il lavoro pratico di analisi dei dati finalizzato al raggiungimento di un certo risultato di fisica viene organizzato in queste grandi collaborazioni. Ognuna delle tematiche di ricerca è organizzata a sua volta in gruppi di lavoro che raccolgono studenti e esperti del dominio di corrispondenza che appartengono a svariate istituzioni internazionali, e sono organizzati da responsabili nominati dal *management* e con il consenso delle varie istanze nazionali, come discusso nella sezione precedente. È all'interno di questi gruppi di lavoro, che possono facilmente raccogliere centinaia di fisici, che gli studi sono ideati, sviluppati e messi in pratica: i dati resi disponibili dall'esperimento sono quindi internamente analizzati alla luce dello studio che si vuole fare. Una specifica analisi coinvolge tipicamente una o qualche istituzione di ricerca, con un contributo che varia da poche persone a qualche decina di persone, e solitamente associata ad uno o più lavori di tesi di dottorato. Per tematiche particolarmente importanti, come la ricerca di un bosone di *Higgs* o di segnali di nuova fisica, è comune bene avere diversi gruppi di studio che lavorano in parallelo sullo stesso soggetto, ma con tecniche differenti. Questa è spesso una decisione strategica basata sul fatto che una scoperta in fisica necessita sempre di una verifica reciproca dei risultati, ma presenta anche il vantaggio di potere scegliere il risultato più convincente al momento della pubblicazione.

Il gruppo di lavoro, tramite i suoi organizzatori, decide quando uno studio è sufficientemente maturo ed interessante ed i suoi risultati ben documentati in una prima bozza di articolo. Questo viene quindi sottoposto al vaglio di tutti i membri della collaborazione in una procedura a più livelli di revisione. Dapprima una commissione di esperti esterni al gruppo di lavoro esamina con estremo dettaglio i contenuti della bozza di documento, intervenendo spesso in modo attivo alla sua messa a punto e interagendo con gli autori per rendere il risultato più chiaro e convincente, qualora ve ne sia necessità. Se il lavoro passa anche questa revisione viene poi fatto circolare liberamente all'interno di tutta la collaborazione. È il momento in cui uno qualsiasi dei membri può porre domande agli autori e contribuire al miglioramento dell'articolo prima che possa diventare, dopo un dettagliato controllo anche degli aspetti editoriali e stilistici, un articolo a nome della collaborazione. Sebbene non frequentemente, l'ultimo processo di revisione può ancora mettere in

discussione i risultati presentati ed, eventualmente, richiedere un controllo completo degli stessi da parte del gruppo di lavoro originale. Ognuno dei passi illustrati culmina con una o più presentazioni da parte degli autori in riunioni aperte a tutti i membri dell'esperimento perché lo studio possa essere presentato pubblicamente e apertamente discusso.

Il processo completo che porta ad una pubblicazione a partire dall'ideazione di uno studio specifico può facilmente implicare svariati mesi, se non anni, di lavoro di un gruppo. In una grande collaborazione è impensabile arrivare ad una pubblicazione su rivista prima di sei mesi dal momento in cui il processo di revisione di una analisi è iniziato. Questa è una conseguenza diretta del grande numero di fisici che contribuiscono alla revisione e della alta qualità che si cerca di raggiungere per una pubblicazione, ma può talvolta impedire l'annuncio rapido di risultati particolarmente significativi. Per questa ragione esiste, in parallelo, la possibilità di effettuare una documentazione rapida di un lavoro, che segue una procedura di revisione accelerata, anche se simile a quella appena presentata, per permettere di contribuire un risultato importante a conferenze internazionali in modo preliminare, nell'attesa di completare una vera pubblicazione con tempi più lunghi.

Questa infrastruttura di revisione, che è simile in tutte le collaborazioni sperimentali al *LHC*, cura con tale minuzia la qualità del testo, nonché del contenuto, di un articolo, da richiedere minimi aggiustamenti prima della pubblicazione effettiva su rivista.

La quantità di studi possibili con i dati del *LHC* è talmente grande che il numero di pubblicazioni per anno e per collaborazione scientifica è impressionante. Una collaborazione come *CMS* o *ATLAS* permette un centinaio di pubblicazioni all'anno su riviste ad alto impatto scientifico, come mostrato in Figura 9 per la collaborazione *ATLAS*, e un grande numero di citazioni della comunità scientifica. Gli articoli sulla scoperta del bosone di *Higgs*, per esempio, ricevono ancora oggi circa un centinaio di citazioni al mese.

Gli articoli di queste grandi collaborazioni sono firmati collegialmente da tutti i membri che ne fanno parte: questa scelta è certamente dovuta al fatto che qualsiasi membro dell'esperimento può contribuire al miglioramento di un lavoro, ma soprattutto alla volontà di riconoscere il merito a tutte le moltissime persone che, negli anni, hanno lavorato sul rivelatore, il suo funzionamento, le infrastrutture *software* e senza i quali non sarebbe stato possibile avere dati da analizzare in primo luogo. I firmatari autori delle pubblicazioni scientifiche della collaborazione *ATLAS (CMS)*, per fornire gli esempi più popolosi, sono, ad oggi, 2700 (2300) circa.

La caratteristica dell'avere articoli firmati da moltissimi autori differenzia enormemente le pubblicazioni della *Big Science* rispetto ad altri domini di ricerca, dove gli articoli sono normalmente firmati da poche persone, ed è spesso oggetto di preoccupazione e di discussione nella comunità scientifica. Riuscire ad emergere in modo chiaro, soprattutto per giovani e brillanti fisici in cerca di lavoro, è sicuramente più problematico quando le proprie idee rischiano di esser confuse in una enorme mole di lavoro effettuata da migliaia di persone senza una traccia evidente, negli articoli finali, di chi ha fatto cosa. Una parte di que-

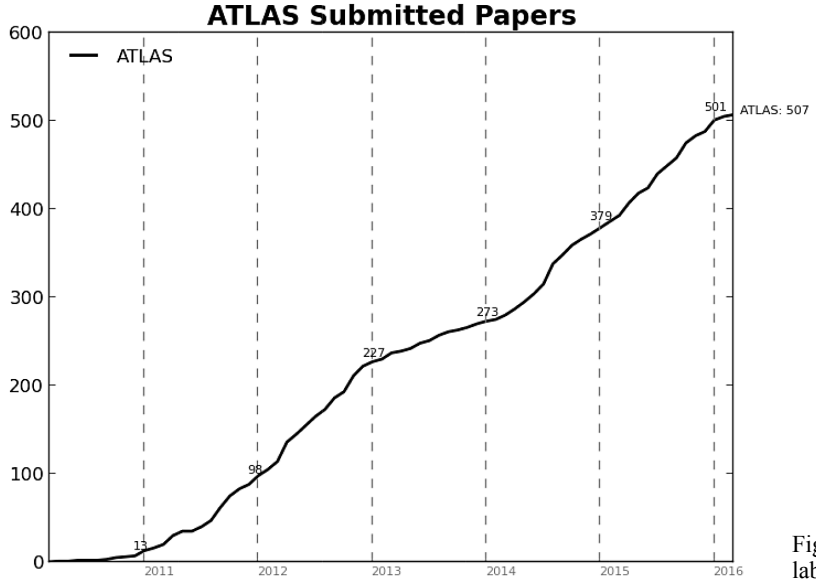


Fig. 9. Numero di pubblicazioni della Collaborazione ATLAS in funzione del tempo.

sto handicap è superata proprio nella (e dalla) stessa comunità scientifica della *Big Science*, che mantiene memoria dei contributi dei singoli ed è in grado, in genere, di applicare criteri meritocratici nel momento di assegnare dei riconoscimenti quali un ruolo di responsabilità o un contratto di lavoro. È meno evidente, per un fisico che contribuisce a queste grandi collaborazioni, la conversione in altri settori della ricerca dove questo supporto interno da parte della comunità viene a mancare. Metodi alternativi per riconoscere esplicitamente il merito di singoli negli articoli firmati da moltissime persone sarebbero in effetti auspicabili, e sono correntemente in studio.

Un aspetto interessante e importante da sottolineare nella produzione scientifica della ricerca in genere consiste nella necessità di ridondanza. La veridicità di un risultato, o di una scoperta, viene affermata dalla capacità di confermarlo, e eventualmente riprodurlo, da una osservazione indipendente. Questa regola di buon senso suggerisce che uno studio sia fatto da più persone e, se possibile, più gruppi, ma anche che diversi esperimenti vengano dedicati a studi simili. È il caso, come discusso, di rivelatori costruiti sullo stesso anello di accelerazione come *ATLAS* e *CMS*, in grado di fornire osservazioni indipendenti degli stessi fenomeni. Gli esperimenti, che producono risultati scientifici in modo indipendente, si trovano spesso in competizione tra di loro per potere presentare un risultato con la migliore precisione o per annunciare per primi la scoperta di fenomeni ignoti. Questa competizione, di per se' positiva e motivante, si trasforma spesso in genuina collaborazione quando si vogliono combinare i risultati di una misura o di una ricerca di nuova fisica per raggiungere una migliore sensibilità da presentare alla comunità scientifica. È in questo senso che, nell'esempio specifico al *LHC*, si sono sviluppati svariati gruppi di lavoro, certamente su base volontaria e gestiti in modo autonomo, con rappresentative di esperti di entrambe le collaborazioni, nonché della comunità di fisica teorica, per confrontare e discutere risultati di studi specifici e, eventualmente, combinarli tra di loro. Due splendidi esempi di collaborazione tra collaborazioni e comunità teorica (sebbene non gli unici) sono dati dal *LHCHWG* (*LHC Higgs Working Group*, per confronto e combinazioni di risultati sulla ricerca e lo studio di un bosone di *Higgs*) e il *LHCTOPWG* (*LHC Top Working Group*, per confronto e combinazione di risultati sulla fisica del top).

La sostenibilità della Big Science

Abbiamo cercato di spiegare come il gigantismo della fisica fondamentale altro non sia, in fondo, che una necessità dettata dalla stessa fisica. Esso tocca tutti gli aspetti della ricerca scientifica ad essa connessa: la dimensione degli apparati, i tempi necessari per la costruzione e l'operazione di tali macchine, la quantità di personale altamente qualificato necessario per il loro funzionamento, l'analisi dei dati, la comprensione dei risultati così come il grande numero di risultati pubblicati.

Dalla Figura 1 abbiamo visto come si possa mettere in relazione questo gigantismo con le energie/distanze che si vogliono esplorare. È quindi ovvio e lecito porsi a questo momento la domanda riguardo l'estrapolazione di questa relazione a energie sempre più grandi e, implicitamente, interrogarsi sulla sostenibilità della *Big Science* su un futuro a lungo termine.

Da una semplice estrapolazione lineare delle scale di distanza sembrerebbe ovvio concludere che un andamento simile per la ricerca fondamentale in fisica delle alte energie non potrà essere sostenibile per sempre, a meno di non coinvolgere comunità ed investimenti sempre maggiori. Questa conclusione può essere mitigata dallo studio di nuovi progetti di macchine acceleratrici, ma anche nuove tecniche di accelerazione che ci permetteranno di migliorare la nostra capacità' di investigare la materia. In questo campo di ricerca è fondamentale approfittare di sviluppi tecnologici, con tempi molto difficili da prevedere, sia in tecniche di accelerazione come di rivelazione, e che ci potrebbero portare alla prossima generazione di "microscopi dell'infinitamente piccolo" in tempi molto più rapidi del previsto.

È impossibile terminare questo articolo senza menzionare l'aspetto umano e sociologico di queste grandi collaborazioni di persone, unite dal comune scopo di ampliare la frontiera della conoscenza umana. Per fornire un esempio diretto consideriamo come il *CERN*, di cui gli autori hanno esperienza diretta, e che è uno dei modelli più noti di *Big Science*, possa essere considerato uno stato tra gli stati, dove migliaia di persone di decine di nazionalità e culture diverse sono accomunate dalla passione per la ricerca e unite nel linguaggio della scienza. Le collaborazioni scientifiche al *CERN* sono formidabili esempi di collaborazioni internazionali e, come tali, presentano aspetti unici nel modo di rapportarsi agli altri sull'ambiente di lavoro ma, inevitabilmente, anche al di fuori di esso. Se, dal punto di vista professionale, la competizione e la collaborazione spesso si fondono insieme, dal punto di vista umano il denominatore comune diventa l'apertura verso l'altro, mentre la mescolanza di culture e la diversità diventano la norma. Simili esperienze arricchiscono enormemente la capacità di relazionarsi agli altri e formano quell'apertura mentale che sarebbe auspicabile per tutti e che permette di superare

una visione spesso troppo parziale della società in cui si vive. Avere una esperienza di lavoro in queste collaborazioni rimane un modo ideale per maturare, sia professionalmente che umanamente.

Chi scrive pensa che non vi sia nulla di più nobile e necessario che cooperare, senza barriere culturali di sorta, ad uno scopo comune che sia più ambizioso di interessi di parte. L'avventura scientifica delle grandi collaborazioni della *Big Science* è un esempio formidabile di quanto questa utopia sia realizzabile e ha già saputo dimostrare quali frutti si possono cogliere investendo, insieme, nella ricerca fondamentale. Questa avventura rimane un'esperienza scientifica ed umana alla quale i due autori sono onorati di aver potuto contribuire e che gli autori sperano diventi sempre più comune, non soltanto nell'ambito della ricerca.

Note

[1] L'Organizzazione per la Cooperazione e lo sviluppo Economico (OECD) raccoglie la maggior parte dei paesi industrializzati.

[2] Gli acronimi ATLAS e CMS stanno per "A Toroidal Lhc ApparatuS" e "Compact Muon Solenoid" rispettivamente. Queste sigle raccolgono in pochissime parole le principali caratteristiche tecniche degli esperimenti.

[3] I nomi degli esperimenti sono acronimi che vengono scelti dalle collaborazioni (in genere con una specie di consultazione) per ricordare le caratteristiche tecniche e o le funzionalità che caratterizzano l'esperimento stesso.

TONI BARONCELLI

Laureato in fisica alla Sapienza di Roma, ha svolto tutta la sua carriera in esperimenti di fisica delle alte energie al CERN contribuendo ad esperimenti dalla fine egli anni 1970: CHARM, DELPHI ed ora ATLAS. Dipendente dell'INFN è attualmente dirigente di ricerca. Ha ricoperto numerosi incarichi di responsabilità nei vari esperimenti nei quali ha lavorato.

ROBERTO CHIERICI

Laureato in fisica all'università di Genova con un dottorato di ricerca ottenuto presso l'università di Torino, è stato membro dello staff scientifico del CERN di Ginevra ed è ora Direttore di Ricerca al CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) in Francia, presso l'IPN di Lione. Nella sua carriera in fisica delle alte energie ha contribuito agli esperimenti DELPHI al LEP e CMS al LHC, ed è specializzato in analisi e interpretazione dei dati.

SULLA FUGA DEI CERVELLI

Franco Pavese

Caro Direttore,

sul N. 2/2015 di Analysis è comparsa un'intervista a Matteo Cacciola, che tocca un argomento, quello dei ricercatori italiani che sarebbero costretti ad emigrare, che mi stimola ad inviare una riflessione su un tema, quello dei "cervelli in fuga", che sta invadendo i media. In genere, ed anche parzialmente nel caso di Cacciola, chi ha raggiunto una posizione permanente di lavoro si lamenta di non riuscire poi spesso ad organizzare la propria ricerca presso il suo Istituto o Facoltà, e chi ha contratti a termine si lamenta di dover sovente cercare poi altrove la possibilità di continuare le sue attività di ricerca.

Non nego che in Italia ci siano molte cose che rendono difficile l'attività del ricercatore, ma, limitatamente al tema della mobilità, ritengo che il problema, come normalmente formulato, sia malposto.

Caratteristica della scienza è la sua extra-territorialità e la mobilità degli scienziati.

La stessa Carta Europea dei Ricercatori non punta, né sulla difesa di un presunto diritto del ricercatore a non essere in qualche modo costretto a cambiare la sede della sua attività (che praticamente da sempre e praticamente per tutti, non è un lavoro autonomo ma è alle dipendenze economiche di qualcuno), né tanto meno ad esigere un contratto di lavoro a tempo indeterminato – nel senso italiano della pratica non licenziabilità. Essa punta invece sulla difesa dell'esigenza del ricercatore di riuscire ad andare a svolgere la sua attività nel luogo dove, di volta in volta, egli pensa di trovare le migliori condizioni dal punto di vista della possibilità di raggiungere quella qualità dei risultati del suo lavoro scientifico che egli si prefigge. Ciò senza dovere fare i conti con condizioni economiche e della sua vita troppo condizionanti e diverse da Paese a Paese. In pratica sostiene la mobilità come una cosa utile ed opportuna, e da incentivare.

A parte il fatto che oggigiorno almeno l'Europa dovrebbe essere considerata come un luogo semplicemente un po' più ampio della propria città, regione o nazione, non ci vedo nulla di negativo nella mobilità extra-nazionale, che non trovo differente da tipi di mobilità a raggio più corto. Essa esiste già in tutti i Paesi, i quali investono parte della loro economia nella formazione di giovani scienziati, ed una parte di essi migra poi in altri luoghi.

Il punto, semmai, è che è auspicabile che il bilancio netto tra uscite ed entrate sia il più possibile vicino al pareggio, ma pesato soprattutto sulla qualità complessiva dei soggetti che si muovono e non sui soli numeri.

La qualità è una dote personale, e se uno è, per dire, un italiano in gamba, farà onore di riflesso all'Italia in qualunque Paese lui/lei operi, sempre che l'orgoglio nazionale non venga troppo sopravalutato.

Tuttavia, nel senso che una Nazione non possa permettersi di perdere globalmente delle capacità intellettuali, come non può permetterselo per la manifattura di beni o per altre risorse economiche, il bilancio globale di cui parlavo è importante; ed in quel senso temo che quello italiano non sia particolarmente favorevole, sia dal punto di vista numerico che dal punto di vista della qualità dei ricercatori importati, rispetto a Paesi come la Gran Bretagna, la Germania e forse anche la Francia. Per questo il "sistema Paese" è fondamentale e questo è un punto dolente in Italia, dove il premio del "merito" e la punizione del "demerito" vengono considerate con fastidio e come non indispensabili. Questa, che è molto diversa dal discorso della "fuga", è per me la vera questione.

Riguardo alla mobilità, sulla cui necessità nella

scienza non ho dubbi, aggiungo due considerazioni.

La prima riguarda il fatto che l'attività scientifica, per sua natura, richiede una selezione dei giovani che tentano quella strada. Ciò significa che ci saranno sempre giovani – ed intendo, tranne discipline particolari, fino a, diciamo, 35 anni di età – in sovrappiù con contratti a termine rispetto al ricambio disponibile, che sarà pur sempre limitato. Per questa ragione, nel campo della scienza mi rifiuto di parlare di "precari". Precari si diventa per due ragioni: una di origine soggettiva, l'altra per le condizioni in cui l'attività a termine spesso si svolge; non perché il contratto è a termine: la sua limitata rinnovabilità non ha fatto che peggiorare le cose, basterebbe la ricostruzione di carriera al momento del passaggio in ruolo.

La seconda riguarda la struttura tradizionale della Società da cui si proviene. In Paesi come l'Italia in cui, nonostante tutto, il legame di famiglia è molto forte, e di un'evidente utilità non solo affettiva, l'attuazione del principio di mobilità può risultare molto più difficilmente attuabile che in Paesi in cui tale legame è storicamente e praticamente molto meno forte. La mobilità può arrivare a richiedere una scelta drastica tra due modelli di vita che sono sostanzialmente diversi, se non forse addirittura in contraddizione tra di loro.

Sarò lieto se queste mie riflessioni saranno trovate dai lettori di qualche interesse, e potranno stimolare una qualche discussione.

FRANCO PAVESE

Franco Pavese, laurea in Ingegneria nel 1966, al CNR Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" (IMGC) dal 1967 e poi al INRIM dal 2006, quando IENGF e IMGC si fusero, e fino al 2009. Dirigente di ricerca dal 1991, ha svolto attività scientifica principalmente in metrologia termodinamica (primaria e secondaria), fisica-chimica dei gas, termometria criogenica, SATT (per schermi magnetici), ed è tuttora attivo su trattamento dei dati sperimentali, statistica di misura ed unità di misura. Ha pubblicato oltre 300 articoli scientifici e libri su media internazionali (https://www.researchgate.net/profile/Franco_Pavese/contributions), anche nell'ambito di collaborazioni formali con ricercatori di oltre 30 Paesi in tutto il mondo e di contratti di ricerca, anche europei, di cui è stato il coordinatore; due brevetti internazionali. Attualmente è Presidente del Comitato IMEKO TC21 "Mathematical Tools in Measurement" ed Esperto nel Comitato ISO TC69 "Applications of statistical methods".

Contatti:

c/o Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM)
Strada delle Cacce 91, 10135 Torino, Italy.
Email: frpavese@gmail.com. Telefono (+39) 348 8130101