



## **100 Buone Ragioni per Diventare Scienziati**

Copyright © 2007 by the Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP)

Condizioni di utilizzo:

Tutti i diritti riservati.

Il presente documento non può essere riprodotto parzialmente o integralmente senza preventiva autorizzazione scritta da parte della fonte e riconoscimento della stessa.

E' possibile salvare o stampare una singola copia per usi strettamente personali. La presente nota sul copyright è parte integrante del documento e non può essere rimossa.



The Abdus Salam  
International Centre for Theoretical Physics



United Nations  
Educational, Scientific and  
Cultural Organization



IAEA  
International Atomic Energy Agency

# 100 Buone Ragioni per Diventare **SCIENZIATI**

Versione tradotta ed ampliata del volume  
"ONE HUNDRED REASONS TO BE A SCIENTIST"

TRIESTE

2007

# 100 BUONE RAGIONI PER DIVENTARE SCIENZIATI

Traduzione italiana di  
"One Hundred Reasons to be a Scientist"  
curata dagli

**Studenti degli Istituti Superiori**  
coordinati dai propri insegnanti

ed ampliata con contributi originali in lingua italiana

## **100 BUONE RAGIONI PER DIVENTARE SCIENZIATI**

Copyright © 2007, Centro Internazionale di Fisica Teorica Abdus Salam (ICTP).  
L'ICTP detiene il diritto inalienabile e illimitato a riprodurre e divulgare questa pubblicazione, in forma cartacea e/o elettronica.

ISBN 92-95003-34-9

Versione tradotta ed ampliata di:  
One Hundred Reasons to be a Scientist, 2<sup>a</sup> edizione © 2005, ICTP.

1<sup>a</sup> edizione © 2004, ICTP, pubblicata in occasione del quarantesimo anniversario del Centro Internazionale di Fisica Teorica Abdus Salam di Trieste.

Stampato a Trieste da ICTP Publications & Printing Services.

## PREFAZIONE ALL'EDIZIONE ITALIANA

---

La versione inglese del libro, pubblicata circa tre anni fa, ha ricevuto la stima di numerosi scienziati a tutti i livelli. Abbiamo esitato a farne un'edizione commerciale, benché sollecitati da alcuni degli autori e nonostante l'interesse di qualche editore: semplicemente, non volevamo che questo fosse di ostacolo alla sua diffusione.

Il libro è stato pubblicato a beneficio primario di studenti e giovani scienziati, ed è giusto chiedersi se ha saputo raggiungere l'obiettivo voluto. Primo, la nostra biblioteca ha distribuito a un gran numero di scienziati copie del libro, spesso in omaggio ed a volte a un prezzo simbolico di 2 Euro. Secondo, il libro è stato ristampato da *Scholars Without Borders*, in collaborazione con il Professor R. Ramaswamy, per meglio rivolgersi alla comunità scientifica in India. Terzo, grazie all'impegno del Professor Arne Sletsjoe, è stato ripubblicato dalla Abel Foundation con l'aggiunta di alcuni contributi, per essere distribuito in tutte le scuole norvegesi. Quarto, una selezione di articoli è stata tradotta in portoghese dal Professor Ricardo Galvao e pubblicata in Brasile dal Centro Brasileiro de Pesquisas Fisicas. Quinto, è stato tradotto in cinese dalla Shanghai Scientific and Technical Publishers ad opera di Zhao Le Jing. Sesto, una traduzione in lingua marathi da parte del Professor Pandit Vidyasagar è stata messa in stampa dalla Gandharv Ved Prakashan. Ora è stata pubblicata la traduzione in bengali da parte del Professor Chandan Bhunia, e una versione in lingua hindi è in preparazione; è stato espresso l'interesse a realizzare traduzioni anche in altre lingue.

Una preoccupazione ricorrente da quando il libro è apparso è che molti studenti italiani non riuscissero a leggerlo in inglese. Perciò una versione italiana era auspicabile, ma volevo che fossero gli studenti stessi a tradurre, anziché un professionista. Mi auguravo che così facendo potessero meglio impadronirsi dei contenuti e delle idee del libro. Per l'occasione, ho anche invitato altri prestigiosi scienziati italiani a scrivere apposta per la versione italiana.

Il processo di coinvolgimento degli studenti e dei loro insegnanti nelle scuole ha avuto una logistica complessa, ed ha interessato diverse persone. Mariuccia Fasanella ha infuso entusiasmo fin dall'inizio; i Professori Marco Budinich ed Ennio Gozzi hanno introdotto e presentato il progetto alle scuole; Lucio Visintin ha mantenuto i contatti e sollecitato lo svolgimento del lavoro; Enrico Fratnik si è occupato dei dettagli della produzione; tutto il personale della biblioteca è stato coinvolto nel progetto; Laura Ventruto ha rivisto tutte le traduzioni e dato coerenza linguistica e stilistica; Gabriela Preda ha dato suggerimenti per il titolo e la veste grafica della copertina; alcuni scienziati hanno verificato la corretta traduzione della terminologia scientifica, e sono citati nei "Ringraziamenti" alla fine del libro. A tutti desidero esprimere la mia gratitudine.

K.R. Sreenivasan  
Abdus Salam Research Professor  
Direttore, ICTP

Copyright © ICTP

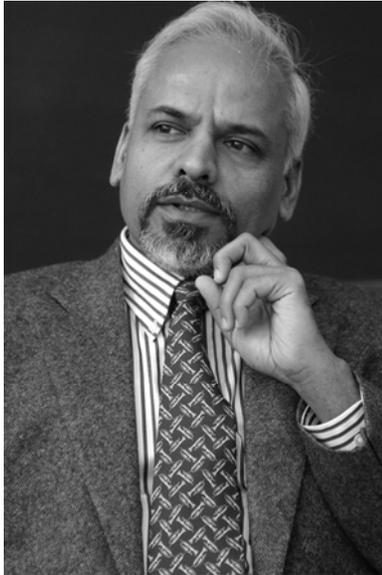
---

**PREFAZIONE**


---

*Katepalli R. Sreenivasan*

The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste



Archivio fotografico ICTP  
© foto di Massimo Silvano

Un paradosso dei nostri tempi è che, mentre le nostre società dipendono dall'innovazione tecnologica come mai in passato, l'interesse per la scienza è in declino a tutti i livelli. È particolarmente sconcertante il tiepido interesse verso la scienza da parte degli studenti più brillanti delle scuole superiori. Questa situazione si è radicata nei paesi sviluppati come in quelli in via di sviluppo, e merita la nostra attenzione collettiva.

Il Centro Internazionale di Fisica Teorica (ICTP) di Trieste, oggi intitolato al suo fondatore, Abdus Salam, è stato all'avanguardia nella divulgazione della conoscenza scientifica verso scienziati di tutte le discipline. In occasione del 40° anniversario del nostro Centro, abbiamo pensato utile produrre questo libro contenente brevi resoconti personali di alcuni dei più prestigiosi scienziati dei nostri tempi, in cui essi raccontano come da giovani la scienza abbia attratto la loro immaginazione e l'abbia mantenuta viva, e quale sia stato il loro contributo personale alla straordinaria eredità scientifica. Quale messaggio hanno in serbo per gli scienziati che devono ancora sbocciare?

Nella scelta degli autori, ho considerato l'elevato standard dei risultati scientifici e il loro legame, in qualche misura, con il Centro. Quasi cento autori hanno generosamente onorato l'invito a contribuire, ed è un piacere per me presentarvi il risultato. Troverete stili diversi in ciascun articolo, ma tutti gli autori si sono sforzati di essere accessibili, senza richiedere una particolare competenza o esperienza da parte dei lettori. Molti autori parlano con il cuore e raccontano la propria esperienza in prima persona. Non esito a dire che i contributi riflettono la serietà con cui è stato preso il nostro invito, e l'affetto che gli autori portano al nostro Centro e alla sua missione. Non potrei immaginare cos'altro li avrebbe altrimenti spinti a dedicare tempo e impegno a questo compito. Ne sono riconoscente.

Mi auguro che i lettori trovino ispirazione in questi saggi, come ne ho trovata io; quando ero studente, avrei tanto desiderato poter leggere articoli di questo genere. Sono convinto che la lettura sia stimolante per gli studenti delle scuole superiori e i giovani universitari, a cui il libro è principalmente rivolto; ma anche i ricercatori di lungo corso lo troveranno interessante.

Questo compito apparentemente lineare ha richiesto tuttavia del lavoro anche da parte nostra. Senza l'impegno diligente di A. Gatti, sarebbe stato molto difficile tradurre il progetto in realtà. E. Fratnik, della biblioteca dell'ICTP, ha offerto la sua impagabile abilità tecnica e il suo tempo. Il progetto stesso è frutto di una conversazione con il Professor C.N.R. Rao. A tutti loro va la mia riconoscenza.

L'ICTP è un ente autonomo regolato da un accordo tripartito tra il Governo Italiano, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (AIEA) e l'Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Educazione, la Scienza e la Cultura (UNESCO).

## INDICE

<b>Prefazione all'edizione italiana</b> .....	i
<b>Prefazione di Katepalli R. Sreenivasan</b> .....	iii
<b>Indice</b> .....	v
<b>Indice degli autori</b> .....	xiii
<b>Scienza e scienziati nei paesi in via di sviluppo</b> .....	1
<i>Abdus Salam</i>	
<b>La mia vita nella scienza</b> .....	4
<i>Andreas Acrivos</i>	
<b>Dalla radio alla fisica delle particelle elementari</b> .....	7
<i>Stephen L. Adler</i>	
<b>Fisico africano, cittadino del mondo</b> .....	10
<i>Francis K.A. Allotey</i>	
<b>RNA e l'origine della vita</b> .....	13
<i>Sydney Altman</i>	
<b>La matematica: slanci di fantasia interdisciplinari</b> .....	15
<i>Michael F. Atiyah</i>	
<b>Scienza del XXI secolo</b> .....	17
<i>Grigory I. Barenblatt</i>	
<b>Vivere con la fisica</b> .....	20
<i>Michael Berry</i>	
<b>Come sono diventato un fisico</b> .....	23
<i>Nicolaas Bloembergen</i>	
<b>La matematica è anche realtà</b> .....	25
<i>Enrico Bombieri</i>	

<b>Il dovere di avvicinare il pubblico alla scienza</b> .....	27
<i>Edoardo Boncinelli</i>	
<b>Circa sessant'anni di fluidodinamica</b> .....	29
<i>Peter Bradshaw</i>	
<b>L'elettricità non è stata inventata provando a fare candele migliori</b> .....	31
<i>Edouard Brézin</i>	
<b>Una vita di letteratura, scienza, ingegneria, economia e politica</b> .....	34
<i>D. Allan Bromley</i>	
<b>Sarebbe magnifico dimostrare qualcosa</b> .....	37
<i>Lennart A.E. Carleson</i>	
<b>Avventura con gli atomi freddi</b> .....	40
<i>Claude Cohen-Tannoudji</i>	
<b>Ogni minuto nascono potenziali scienziati</b> .....	42
<i>James W. Cronin</i>	
<b>Come sono diventato uno scienziato</b> .....	44
<i>Paul J. Crutzen</i>	
<b>La formazione di un economista accademico</b> .....	47
<i>Partha Dasgupta</i>	
<b>Essere uno scienziato</b> .....	51
<i>Christian de Duve</i>	
<b>Una passeggiata a caso nella fisica</b> .....	53
<i>Pierre-Gilles de Gennes</i>	
<b>Dar luce e sostegno alla fisica</b> .....	55
<i>Mildred S. Dresselhaus</i>	
<b>Giocare coi numeri</b> .....	58
<i>Freeman J. Dyson</i>	

<b>Una vita nella scienza</b> .....	61
<i>Sam Edwards</i>	
<b>Come ci sono riuscito?</b> .....	63
<i>John B. Fenn</i>	
<b>Supernova e supergravità</b> .....	67
<i>Daniel Z. Freedman</i>	
<b>Avvicinando la fisica</b> .....	71
<i>Giovanni Gallavotti</i>	
<b>Istruzione, scienza e fortuna</b> .....	73
<i>Vitaly L. Ginzburg</i>	
<b>Ascolta la voce della tua coscienza</b> .....	76
<i>Maurice Goldhaber</i>	
<b>Le delizie della teoria delle stringhe</b> .....	77
<i>Michael B. Green</i>	
<b>Misurare la coscienza</b> .....	80
<i>Susan Greenfield</i>	
<b>Alcune riflessioni sulla professione di matematico</b> .....	82
<i>Phillip A. Griffiths</i>	
<b>La teoria dei numeri in topologia</b> .....	85
<i>Friedrich E.P. Hirzebruch</i>	
<b>Crescere nella 'scienza'</b> .....	88
<i>John J. Hopfield</i>	
<b>Una vita di scienza e un po' di politica</b> .....	92
<i>Julian C.R. Hunt</i>	
<b>Il talento non sempre si manifesta presto</b> .....	95
<i>Daniel D. Joseph</i>	

<b>La verità scientifica</b> .....	100
<i>Leo P. Kadanoff</i>	
<b>Incursioni nel mondo dell'astronomia, della tecnologia e dello spazio</b> .	102
<i>Krishnaswamy Kasturirangan</i>	
<b>La ricerca scientifica è la chiave della sopravvivenza umana</b> .....	107
<i>Vladimir I. Keilis-Borok</i>	
<b>Scienza come divertimento</b> .....	110
<i>Joseph B. Keller</i>	
<b>Un nostro grande contemporaneo</b> .....	112
<i>Isaak M. Khalatnikov</i>	
<b>Aprirsi una strada tra le avversità</b> .....	114
<i>Walter Kohn</i>	
<b>Questioni di responsabilità</b> .....	119
<i>Serge Lang</i>	
<b>Essere aperti ai problemi</b> .....	122
<i>Peter D. Lax</i>	
<b>Sulle origini microscopiche dei fenomeni macroscopici</b> .....	123
<i>Joel L. Lebowitz</i>	
<b>Scienziati come esploratori</b> .....	126
<i>Leon M. Lederman</i>	
<b>Fisica significa confrontare la teoria con l'esperimento</b> .....	128
<i>Anthony J. Leggett</i>	
<b>Camminare con responsabilità</b> .....	130
<i>Jean-Marie P. Lehn</i>	
<b>Come sono stata attratta dalla scienza</b> .....	132
<i>Johanna M.H. Levelt Sengers</i>	

<b>Adoro i rompicapi</b> .....	135
<i>Simon A. Levin</i>	
<b>Modelli climatici con i computer</b> .....	138
<i>Syukuro Manabe</i>	
<b>Un cammino difficile, isolato ed entusiasmante</b> .....	142
<i>Benoit B. Mandelbrot</i>	
<b>La ricerca è totale libertà</b> .....	144
<i>Mambillikalathil G.K. Menon</i>	
<b>Un rapporto con la fluidodinamica lungo una vita</b> .....	147
<i>Keith Moffatt</i>	
<b>Fare parte di un buon gruppo</b> .....	150
<i>Marcos Moshinsky</i>	
<b>La mia vita di scienziato</b> .....	152
<i>David B. Mumford</i>	
<b>C'è molto da fare dopo i venticinque</b> .....	155
<i>Yoichiro Nambu</i>	
<b>Come sono diventato uno scienziato</b> .....	157
<i>Roddam Narasimha</i>	
<b>L'emozione di fare scienza</b> .....	161
<i>Jayant V. Narlikar</i>	
<b>Combinare la matematica con la fisica</b> .....	165
<i>Sergey P. Novikov</i>	
<b>È tutta una questione di curiosità</b> .....	169
<i>Paul M. Nurse</i>	
<b>Fisica: esplorare l'universo</b> .....	171
<i>Douglas D. Osheroff</i>	

<b>La gioia di essere uno scienziato</b> .....	174
<i>Jacob Palis</i>	
<b>Fare scienza sperimentale</b> .....	176
<i>Martin M. Perl</i>	
<b>Con il tempo la ricerca diventa più emozionante</b> .....	179
<i>William D. Phillips</i>	
<b>Il punto di partenza</b> .....	181
<i>Alexander M. Polyakov</i>	
<b>Perché ho deciso di fare il matematico</b> .....	183
<i>Claudio Procesi</i>	
<b>Anche tu potresti essere un matematico</b> .....	185
<i>Helen R. Quinn</i>	
<b>La gioia di una ricerca senza fine</b> .....	189
<i>Chintamani N.R. Rao</i>	
<b>La scienza è una ricerca infinita</b> .....	192
<i>Martin Rees</i>	
<b>Dobbiamo migliorare la nostra immagine</b> .....	196
<i>Tullio E. Regge</i>	
<b>Abbiamo bisogno di voi</b> .....	198
<i>Vera C. Rubin</i>	
<b>Il fascino della conoscenza</b> .....	201
<i>David Ruelle</i>	
<b>Perché fisica?</b> .....	203
<i>Myriam P. Sarachik</i>	
<b>Superstringhe</b> .....	206
<i>John H. Schwarz</i>	

<b>Le gioie ed il costo dell'indipendenza scientifica</b> .....	209
<i>Giacinto Scoles</i>	
<b>La libertà personale di fare scienza può esistere in qualunque sistema</b> .....	212
<i>Yakov G. Sinai</i>	
<b>La scienza è esigente ma non è mai noiosa</b> .....	213
<i>Maxine F. Singer</i>	
<b>Prima marginale, dopo eccellente</b> .....	216
<i>Stephen Smale</i>	
<b>La scienza offre un importante contributo</b> .....	217
<i>Susan Solomon</i>	
<b>La tecnologia offre miglioramenti</b> .....	220
<i>Robert M. Solow</i>	
<b>Un resoconto del mio contributo alla fisica teorica</b> .....	222
<i>Ennackal C.G. Sudarshan</i>	
<b>La splendida logica della natura</b> .....	224
<i>Gerardus 't Hooft</i>	
<b>La storia del laser</b> .....	227
<i>Charles H. Townes</i>	
<b>La curiosità, il mio talento naturale</b> .....	230
<i>Daniel C. Tsui</i>	
<b>Le osservazioni danno luogo ad applicazioni e miglioramenti</b> .....	232
<i>Harold E. Varmus</i>	
<b>Una vita gratificante</b> .....	234
<i>Rafael Vicuña</i>	
<b>I contributi degli scienziati vivono più a lungo di loro</b> .....	236
<i>Klaus von Klitzing</i>	

<b>“La Camaro rossa”</b> .....	238
<i>Steven Weinberg</i>	
<b>Memorie di una fisica latinoamericana</b> .....	240
<i>Mariana Weissmann</i>	
<b>La scienza mi ha regalato la libertà</b> .....	243
<i>Frank Wilczek</i>	
<b>Guardando indietro</b> .....	245
<i>Edward Witten</i>	
<b>La mia esperienza con la matematica</b> .....	248
<i>Shing Tung Yau</i>	
<b>Il mio incontro con i libri di matematica e scienze</b> .....	250
<i>James A. Yorke</i>	
<b>È possibile</b> .....	253
<i>Ahmed H. Zewail</i>	
<b>Ringraziamenti</b> .....	257

## INDICE DEGLI AUTORI

**PROFESSOR ANDREAS ACRIVOS**

Professor Emeritus  
Levich Institute, Steinman Hall # 1M  
City College of CUNY  
140<sup>th</sup> Street & Convent Avenue  
New York, NY 10031  
USA  
[acrivos@scisun.sci.cuny.cuny.edu](mailto:acrivos@scisun.sci.cuny.cuny.edu)

**PROFESSOR STEPHEN L. ADLER**

Institute for Advanced Study  
School of Natural Sciences  
Einstein Drive  
Princeton, NJ 08540  
USA  
[adler@ias.edu](mailto:adler@ias.edu)

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1998)

**PROFESSOR FRANCIS K.A. ALLOTEY**

National Centre for Mathematical Sciences  
P.O. Box 80  
Legon  
Accra  
Ghana  
[fka@ghana.com](mailto:fka@ghana.com)

**PROFESSOR SYDNEY ALTMAN**

Sterling Professor of Biology and Chemistry  
Biophysical Chemistry; Organic Chemistry  
Yale University  
P.O. Box 208283  
New Haven, CT 06520-8283  
USA  
[sidney.altman@yale.edu](mailto:sidney.altman@yale.edu)

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 1989)

**SIR MICHAEL F. ATIYAH**

University of Edinburgh  
Department of Mathematics and Statistics  
King's Building  
Edinburgh EH9 3JZ  
Scotland  
UK  
[atiyah@maths.ed.ac.uk](mailto:atiyah@maths.ed.ac.uk)

(MEDAGLIA FIELDS, 1966,  
PREMIO ABEL, 2004)

**PROFESSOR GRIGORY I. BARENBLATT**  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
1 Cyclotron Road  
Mail Stop 50A/1148  
Berkeley, CA 94720  
USA  
**[gibar@Math.Berkeley.edu](mailto:gibar@Math.Berkeley.edu)**

**SIR MICHAEL BERRY**  
H.H. Wills Physics Laboratory  
University of Bristol  
Royal Fort, Tyndall Avenue  
Bristol BS8 1TL  
UK  
**[tracie.anderson@bristol.ac.uk](mailto:tracie.anderson@bristol.ac.uk)**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1995,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1998)

**PROFESSOR NICOLAAS BLOEMBERGEN**  
Visiting Professor  
Optical Sciences Center  
University of Arizona  
1630 E. University Blvd.  
Tucson, AZ 85721 - 0094  
USA  
**[nbloembergen@optics.arizona.edu](mailto:nbloembergen@optics.arizona.edu)**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1981)

**PROFESSOR ENRICO BOMBIERI**  
Institute for Advanced Study  
School of Mathematics  
Einstein Drive  
Princeton, NJ 08540  
USA  
**[eb@ias.edu](mailto:eb@ias.edu)**

(MEDAGLIA FIELDS, 1974)

**PROFESSOR EDOARDO BONCINELLI**  
Direttore  
Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati SISSA  
Via Beirut n. 2-4  
34014 Trieste  
Italia  
**[bonci@sissa.it](mailto:bonci@sissa.it)**

**PROFESSOR PETER BRADSHAW**

Thomas V. Jones Professor of Engineering, Emeritus  
Stanford University  
Stanford, CA 94305  
USA  
**bradshaw@vonkarman.stanford.edu**

**PROFESSOR EDOUARD BRÉZIN**

Département de Physique  
Laboratoire de Physique Théorique  
Ecole Normale Supérieure  
24 rue Lhomond  
75231 Paris Cedex 05  
France  
**brezin@physique.ens.fr**

**PROFESSOR D. ALLAN BROMLEY**

Sterling Professor of the Sciences  
Department of Physics  
Yale University  
New Haven, CT 06520  
USA  
**d.bromley@yale.edu**

**PROFESSOR LENNART A.E. CARLESON**

Royal Institute of Technology  
Mathematics Institute  
S-100 44 Stockholm  
Sweden  
**carleson@math.kth.se**

(PREMIO WOLF, MATEMATICA, 1992,  
PREMIO ABEL, 2006)

**PROFESSOR CLAUDE COHEN-TANNOUJJI**

Département de Physique  
Ecole Normale Supérieure  
Laboratoire Kastler Brossel  
24, rue Lhomond  
75230 Paris Cedex 05  
France  
**Claude.Cohen-Tannoudji@lkb.ens.fr,**  
**cct@lkb.ens.fr**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1997)

**PROFESSOR JAMES W. CRONIN**

Professor Emeritus  
Enrico Fermi Institute  
University of Chicago  
5640 South Ellis Avenue  
IL 60637 Chicago  
USA  
**jwc@hep.uchicago.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1980)

**PROFESSOR PAUL J. CRUTZEN**

Max-Planck-Institute for Chemistry  
Department of Atmospheric Chemistry Division  
P.O. Box 3060  
D-55020 Mainz  
Germany  
**air@mpch-mainz.mpg.de**

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 1995)

**SIR PARTHA DASGUPTA**

Faculty of Economics  
Cambridge University  
Cambridge CB3 9DD  
UK  
**partha.dasgupta@econ.cam.ac.uk**

**PROFESSOR CHRISTIAN DE DUVE**

Christian de Duve Institute  
of Cellular Pathology  
75, avenue Hippocrate 75  
B-1200 Brussels  
Belgium  
**deduve@icp.ucl.ac.be**

(PREMIO NOBEL, MEDICINA O FISILOGIA, 1974)

**PROFESSOR PIERRE-GILLES DE GENNES**

College de France  
ESPCI  
10 Rue Vauquelin  
75007 PARIS  
France  
**pierre-gilles.degennes@espci.fr**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1991,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1990)

**PROFESSOR MILDRED S. DRESSELHAUS**  
Department of Physics  
Massachusetts Institute of Technology  
Cambridge, MA 02138  
USA  
**millie@mgm.mit.edu**

**PROFESSOR FREEMAN J. DYSON**  
Professor Emeritus  
Institute for Advanced Study  
School of Natural Sciences  
Einstein Drive  
Princeton, NJ 08540  
USA  
**dyson@ias.edu**

(PREMIO WOLF, FISICA, 1981)

**SIR SAM EDWARDS**  
Cavendish Laboratory  
249 Bragg Building  
Cambridge University  
CB3 0HE  
UK  
**sfe11@phy.cam.ac.uk**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 2005)

**PROFESSOR JOHN B. FENN**  
VCU Department of Chemistry  
1001 W. Main Street  
P.O. Box 842006  
Richmond VA 23284-2006  
USA  
**jbfenn@vcu.edu**

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 2002)

**PROFESSOR DANIEL Z. FREEDMAN**  
Department of Mathematics, 2-381  
Massachusetts Institute of Technology  
77 Massachusetts Avenue  
Cambridge MA 02139  
USA  
**dzf@math.mit.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1993)

**PROFESSOR GIOVANNI GALLAVOTTI**

Dipartimento di Fisica  
Università di Roma La Sapienza  
P.le Aldo Moro 2  
00185 Roma  
Italia  
**giovanni.gallavotti roma1.infn.it**

**PROFESSOR VITALY L. GINZBURG**

I.E.Theory Department  
P.N.Lebedev Physical Institute  
Russian Academy of Sciences  
Leninsky Prospect 53  
Moscow B-333  
119991 Russia  
**ginzburg@lpi.ru**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1993,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1994/5)

**PROFESSOR MAURICE GOLDHABER**

Director Emeritus  
Brookhaven National Laboratory  
Upton, New York 11973  
USA  
**goldhaber@bnl.gov**

(PREMIO WOLF, FISICA, 1991)

**PROFESSOR MICHAEL B. GREEN**

John Humphrey Plummer Professor  
of Theoretical Physics  
DAMTP  
Wilberforce Road  
Cambridge CB3 0WA  
UK  
**M.B.Green@damtp.cam.ac.uk**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1989)

**BARONESS SUSAN GREENFIELD**

Director  
The Royal Institution of Great Britain  
21 Albemarle Street  
London W1S 4BS  
UK  
**susan.greenfield@ri.ac.uk**

**PROFESSOR PHILLIP A. GRIFFITHS**  
Institute for Advanced Study  
School of Mathematics  
Einstein Drive  
Princeton, NJ 08540  
USA  
**pg@ias.edu**

**PROFESSOR FRIEDRICH E.P. HIRZEBRUCH**  
Max-Planck Institut für Mathematik  
Postfach 7280  
53111 Bonn  
Germany  
**hirzebruch@mpim-bonn.mpg.de**

(PREMIO WOLF, MATEMATICA, 1988)

**PROFESSOR JOHN J. HOPFIELD**  
Department of Molecular Biology  
Princeton University  
Washington Road  
Princeton, NJ 08544  
USA  
**hopfield@princeton.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 2001)

**LORD JULIAN C.R. HUNT**  
Honorary Professor of Physics  
University College London  
Room 222, Pearson Building  
Gower Street  
London WC1E 6BT  
UK  
**jcrh@cpom.ucl.ac.uk**

**PROFESSOR DANIEL D. JOSEPH**  
Regents Professor  
Aerospace Engineering and Mechanics  
University of Minnesota  
07 Akerman Hall  
110 Union St. SE  
Minneapolis, MN 55455  
USA  
**joseph@aem.umn.edu**

**PROFESSOR LEO P. KADANOFF**

The James Franck Institute, Office 109  
The University of Chicago  
5640 South Ellis Avenue  
Chicago IL 60637  
USA  
**LeoP@Uchicago.edu**

(PREMIO WOLF, FISICA, 1980)

**PROFESSOR KRISHNASWAMY KASTURIRANGAN**

Member of Parliament (Rajya Sabha)  
Post Box No. 9433  
Sanjaynagar Post Office  
Bangalore - 560 094  
India  
**krangan@nias.iisc.ernet.in**

**PROFESSOR VLADIMIR I. KEILIS-BOROK**

Institute of Geophysics and Planetary Physics  
& Department of Earth and Space Science  
University of California, Los Angeles  
USA  
**vkb@ess.ucla.edu**

**PROFESSOR JOSEPH B. KELLER**

Professor of Mathematics, Emeritus  
Stanford University  
Stanford, CA 94305  
USA  
**till@math.stanford.edu**  
**keller@math.stanford.edu**

(PREMIO WOLF, MATEMATICA, 1996/7)

**PROFESSOR ISAAK M. KHALATNIKOV**

L.D. Landau Institute of Theoretical Physics  
Kosygina str., 2  
119334 Moscow  
Russia  
**khalat@itp.ac.ru,**  
**khalat@landau.ac.ru**

**PROFESSOR WALTER KOHN**  
Department of Physics  
Broida Hall 6111  
University of California  
Santa Barbara, CA 93106-9530  
USA  
**kohn@physics.ucsb.edu**

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 1998)

**PROFESSOR SERGE LANG**  
Department of Mathematics  
Yale University  
PO Box 208283  
New Haven, CT 06520-8283  
USA

**PROFESSOR PETER D. LAX**  
Professor Emeritus  
New York University  
Courant Institute  
251 Mercer St  
New York, NY 10012-1110  
USA  
**lax@cims.nyu.edu**

(PREMIO WOLF, MATEMATICA, 1987,  
PREMIO ABEL, 2005)

**PROFESSOR JOEL L. LEBOWITZ**  
Director  
Center for Mathematical Sciences Research  
Rutgers, The State University  
110 Frelinghuysen Road  
Piscataway, NJ 08854-8019  
USA  
**lebowitz@math.rutgers.edu**

**PROFESSOR LEON M. LEDERMAN**  
Fermi National Accelerator Laboratory  
P.O.Box 500  
Wilson Road  
60510 IL. Batavia  
USA  
**lederman@fnal.gov**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1988,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1982)

**PROFESSOR ANTHONY J. LEGGETT**  
Department of Physics  
University of Illinois at Urbana-Champaign  
1110 W. Green St.  
IL 61801-3080 Urbana  
USA  
**aleggett@uiuc.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 2003,  
PREMIO WOLF, FISICA, 2002/3)

**PROFESSOR JEAN-MARIE P. LEHN**  
Laboratoire de chimie supramoléculaire  
Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires  
ISIS-ULP  
8, allée Gaspard Monge - BP 70028  
F-67083 Strasbourg Cedex  
France  
**lehn@isis.u-strasbg.fr,**  
**lehn@chimie.u-strasbg.fr**

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 1987)

**PROFESSOR JOHANNA M.H. LEVELT-SENGERS**  
National Institute of Standards and Technology  
100 Bureau Drive, Stop 8380  
Gaithersburg, MD 20899-8380  
USA  
**johanna.sengers@nist.gov**

**PROFESSOR SIMON A. LEVIN**  
Princeton University  
Department of Ecology and Evolutionary Biology  
Eno Hall  
NJ 08544-1033 Princeton  
USA  
**slevin@eno.Princeton.EDU**

**PROFESSOR SYUKURO MANABE**  
6 Governor's Lane  
Princeton, NJ 08540-3666  
USA  
**NMANA6@aol.com**

**PROFESSOR BENOIT B. MANDELBROT**  
Sterling Professor of Mathematical Sciences  
Yale University  
P.O. Box 208283  
New Haven, CT 06520-8283  
USA  
**benoit.mandelbrot@yale.edu**

(PREMIO WOLF, FISICA, 1993)

**PROFESSOR MAMBILLIKALATHIL G.K. MENON**  
K 5 (Rear)  
Hauz Khas  
New Delhi 110 016  
India  
**mgkmenon@ren02.nic.in**

**PROFESSOR KEITH MOFFATT**  
University of Cambridge  
Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics  
Centre for Mathematical Sciences  
Wilberforce Road  
Cambridge CB3 0WA  
UK  
**H.K.Moffatt@damtp.cam.ac.uk**

**PROFESSOR MARCOS MOSHINSKY**  
Instituto de Física  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)  
Apartado Postal 20-364  
01000 México, D.F.  
Mexico  
**moshi@fisica.unam.mx**

**PROFESSOR DAVID B. MUMFORD**  
Division of Applied Mathematics  
Brown University  
Box F Providence, RI 02912  
USA  
**David\_Mumford@brown.edu**

(MEDAGLIA FIELDS, 1974)

**PROFESSOR YOICHIRO NAMBU**

Enrico Fermi Institute  
University of Chicago  
5640 Ellis Street  
Chicago IL 60637-1433  
USA

**nambu@theory.uchicago.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1986,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1994/5)

**PROFESSOR RODDAM NARASIMHA**

Chairman  
Engineering Mechanics Unit  
Jawaharlal Nehru Centre for Advanced  
Scientific Research  
Jakkur P O  
Bangalore 560 064  
India

**roddam@caos.iisc.ernet.in**

**PROFESSOR JAYANT V. NARLIKAR**

Director  
Inter-University Centre for Astronomy and Astrophysics  
Poona University Campus  
Post Bag 4, Ganeshkhind  
Pune 411 007  
India

**jvn@iucaa.ernet.in**

**PROFESSOR SERGEY P. NOVIKOV**

Institute for Physical Science and Technology  
University of Maryland  
Computer Science Building  
College Park, MD 20742-2431  
USA

**novikov@ipst.umd.edu**

(MEDAGLIA FIELDS, 1970)

**SIR PAUL M. NURSE**

President  
The Rockefeller University  
1230 York Avenue  
New York, NY 10021  
USA

**nurse@rockefeller.edu**

(PREMIO NOBEL, MEDICINA O FISILOGIA, 2001)

**PROFESSOR DOUGLAS D. OSHEROFF**

Department of Physics  
Stanford University  
Stanford, CA 94305-4060  
USA

**osheroff@stanford.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA 1996)

**PROFESSOR JACOB PALIS**

Instituto de Matematica Pura  
e Aplicada (IMPA)  
Edificio Lelio Gama  
Estrada Dona Castorina 110  
Jardim Botânico  
22460-320 Rio de Janeiro, RJ  
Brazil

**jpalis@impa.br**

**PROFESSOR MARTIN M. PERL**

Stanford Linear Accelerator Center  
2675 Sand Hill Road  
Menlo Park, CA 94025  
USA

**martin@slac.stanford.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1995,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1982)

**PROFESSOR WILLIAM D. PHILLIPS**

PHY A167  
National Institute of Standards and Technology  
(Formerly National Bureau of Standards)  
Gaithersburg, Maryland 20899  
USA

**wphillips@nist.gov**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1997)

**PROFESSOR ALEXANDER M. POLYAKOV**

Department of Physics  
Princeton University  
348 Jadwin Hall  
Princeton, NJ 08544  
USA

**polyakov@princeton.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1986)

**PROFESSOR CLAUDIO PROCESI**

Dipartimento di Matematica "Guido Castelnuovo"  
Università di Roma La Sapienza  
P.le Aldo Moro 2  
00185 Roma  
Italia  
**procesi@mat.uniroma1.it**

**PROFESSOR HELEN R. QUINN**

Theoretical Physics Group  
Mail Stop 81  
Stanford Linear Accelerator Center  
2725 Sand Hill Road  
Menlo Park, CA 94025  
USA  
**quinn@slac.stanford.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 2000)

**PROFESSOR CHINTAMANI N.R. RAO**

Jawaharlal Nehru Centre for  
Advanced Scientific Research (JNCASR)  
Jakkur P.O.  
Bangalore 560 064  
India  
**cnrrao@jncasr.ac.in**

**SIR MARTIN REES**

Astronomer Royal  
Cambridge University  
Institute of Astronomy  
Madingley Road  
Cambridge  
UK  
**mjr@ast.cam.ac.uk**

**PROFESSOR TULLIO E. REGGE**

ISI Foundation (Institute for  
Scientific Interchange)  
Villa Gualino  
Viale S. Severo 65  
10133 Torino  
Italia  
**regge@isiosf.isi.it**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1996)

**PROFESSOR VERA C. RUBIN**  
Department of Terrestrial Magnetism  
Carnegie Institution of Washington  
5241 Broad Branch Road, NW  
Washington, DC 20015  
USA  
**rubin@dtm.ciw.edu**

**PROFESSOR DAVID RUELLE**  
Institut des Hautes Etudes Scientifiques  
91440 Bures sur Yvette  
France  
**ruelle@ihes.fr**

**PROFESSOR MYRIAM P. SARACHIK**  
Department of Physics  
City College of New York  
New York, NY 10031  
USA  
**sarachik@sci.cuny.cuny.edu**

**PROFESSOR JOHN H. SCHWARZ**  
Particle Theory Group, MC 452-48  
California Institute of Technology  
Pasadena, California 91125  
USA  
**jhs@theory.caltech.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1989)

**PROFESSOR GIACINTO SCOLES**  
Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati SISSA  
c/o ELETTRA Sincrotrone Trieste  
Strada Statale 14 - km 163,5  
34012 Basovizza, Trieste Italia  
**gscoles@princeton.edu**

**PROFESSOR YAKOV G. SINAI**  
Department of Mathematics  
Princeton University  
708 Fine Hall  
Princeton, New Jersey 08544-1000  
USA  
**sinai@math.princeton.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1992,  
PREMIO WOLF, MATEMATICA, 1996/7)

**PROFESSOR MAXINE F. SINGER**

Senior Scientific Advisor  
Carnegie Institution  
1530 P Street NW  
Washington, DC 20005  
USA  
**msinger@pst.ciw.edu**

**PROFESSOR STEPHEN SMALE**

University of California  
Department of Mathematics  
Evans Hall 970  
Berkeley CA 94720  
USA  
**smale@math.berkeley.edu**

(MEDAGLIA FIELDS, 1966,  
PREMIO WOLF, MATEMATICA, 2006/7)

**PROFESSOR SUSAN SOLOMON**

National Oceanic and Atmosphere Administration (NOAA)  
Aeronomy Laboratory  
325 Broadway, R/AL8  
Boulder, CO 80305  
USA  
**Susan.Solomon@noaa.gov**

**PROFESSOR ROBERT M. SOLOW**

Massachusetts Institute of Technology  
Department of Economics - E52-383B  
50 Memorial Drive  
02139 Cambridge, MA  
USA  
FAX: 001 617 253 0560

(PREMIO NOBEL, ECONOMIA, 1987)

**PROFESSOR ENNACKAL C.G. SUDARSHAN**

Physics Department  
RLM Bldg. 9.328  
University of Texas  
Austin, Texas 78712  
USA  
**sudarshan@physics.utexas.edu**

**PROFESSOR GERARDUS 'T HOOFT**  
Institute for Theoretical Physics  
Universiteit Utrecht  
Leuvenlaan 4, 3584 CC Utrecht  
The Netherlands  
**g.thoof@phys.uu.nl**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1999,  
PREMIO WOLF, FISICA, 1981)

**PROFESSOR CHARLES H. TOWNES**  
Professor Emeritus  
University of California at Berkeley  
Berkley, CA 94720  
USA  
**cht@ssl.berkeley.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1964)

**PROFESSOR DANIEL C. TSUI**  
Princeton University  
Department of Electrical Engineering  
Room B-426, Engineering Quadrangle  
Olden Street  
Princeton, NJ 08544  
USA  
**tsui@ee.princeton.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1998)

**PROFESSOR HAROLD E. VARMUS**  
Varmus Laboratory  
Memorial Sloan-Kettering Cancer Center  
1275 York Avenue  
New York, New York 10021  
USA  
**varmus@mskcc.org**

(PREMIO NOBEL, MEDICINA O FISILOGIA, 1989)

**PROFESSOR RAFAEL VICUÑA**  
Laboratory of Biochemistry  
Department of Molecular Genetics and Microbiology  
School of Biological Sciences  
Pontificia Univ. Católica de Chile  
Casilla 114-D  
Santiago  
Chile  
**rvicuna@bio.puc.cl**

**PROFESSOR KLAUS VON KLITZING**  
Max-Planck-Institut Fur Festkorperforschung  
Heisenbergstrasse 1  
Postfach 80 06 65  
D-70569 Stuttgart  
Germany  
**K.Klitzing@fkf.mpg.de**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1985)

**PROFESSOR STEVEN WEINBERG**  
University of Texas at Austin  
Department of Physics  
Theory Group, RLM 5.208 C1608  
Austin, TX 78712-1081  
USA  
**weinberg@physics.utexas.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 1979)

**PROFESSOR MARIANA WEISSMANN**  
Comisión Nacional de Energía Atómica  
Depto. de Física  
Av. del Libertador 8250  
1429 Buenos Aires  
Argentina  
**weissman@cnea.gov.ar**

**PROFESSOR FRANK WILCZEK**  
Department of Physics, 6-305  
Massachusetts Institute of Technology  
77 Massachusetts Avenue  
Cambridge MA, 02139  
USA  
**wilczek@mit.edu**

(PREMIO NOBEL, FISICA, 2004,  
MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1994)

**PROFESSOR EDWARD WITTEN**  
Institute for Advanced Study  
School of Natural Sciences  
Einstein Drive  
Princeton, NJ 08540  
USA  
**witten@ias.edu**

(MEDAGLIA DIRAC DELL'ICTP, 1985,  
MEDAGLIA FIELDS, 1990)

**PROFESSOR SHING TUNG YAU**

Harvard University  
Department of Mathematics  
1, Oxford Street  
Cambridge MA 02138  
USA  
**yau@math.harvard.edu**

(MEDAGLIA FIELDS, 1982)

**PROFESSOR JAMES A. YORKE**

Institute for Physical Sciences and Technology  
University of Maryland  
College Park, MD 20742  
USA  
**Yorke2@ipst.umd.edu**

**PROFESSOR AHMED H. ZEWAIL**

Linus Pauling Chair  
Arthur Amos Noyes Laboratory of Chemical Physics  
California Institute of Technology  
Mail Code 127-72  
Pasadena, California 91125  
USA  
**zewail@caltech.edu**

(PREMIO NOBEL, CHIMICA, 1999,  
PREMIO WOLF, CHIMICA, 1993)

Copyright © ICTP

---

**SCIENZA E SCIENZIATI NEI PAESI IN VIA DI SVILUPPO<sup>1</sup>**

---

*Abdus Salam*International Centre for Theoretical Physics  
Trieste, Italia

© Cortesia di Nick Jackson, Blackett Laboratory, Imperial College, London

Sono nato nel 1926 in un paese di campagna, Jhang, allora parte dell'India britannica e ora Pakistan. Mio padre era un insegnante e un funzionario del Ministero dell'Istruzione e mia madre era una casalinga; avevo sei fratelli e una sorella. Le nostre possibilità economiche erano molto limitate. Mio padre era molto interessato al mio rendimento scolastico ed aveva grandi ambizioni per me: ero destinato ad entrare nell'amministrazione statale indiana, alla quale si accedeva dopo esami molto selettivi. Tuttavia ciò non avvenne, poiché la mia vita seguì un altro percorso.

Degli anni di scuola, ricordo in particolare la lezione di un'insegnante sulle forze basilari della natura (era all'incirca il 1936). Iniziò con la gravità, di cui naturalmente avevamo tutti sentito parlare. Poi ci disse: "Elettricità. C'è una forza che si chiama elettricità, ma qui a Jhang non l'abbiamo; per trovarla, dobbiamo andare a Lahore, a 160 km ad est da qui." Della forza nucleare ci disse che "esisteva solo in Europa". Questa era la scuola in un paese in via di sviluppo.

Quando avevo 14 anni, vinsi una borsa di studio per il Government College di Lahore, con i voti più alti che uno studente avesse mai ottenuto. Ricordo che quando tornai a casa in bicicletta da Lahore, l'intero paese venne ad accogliermi. A 16 anni scrissi il mio primo articolo di ricerca, che fu pubblicato in un rivista di matematica. Tuttavia, la mia passione per la ricerca iniziò alla Cambridge University.

Fui fortunato ad ottenere una borsa di studio per andare a Cambridge. I famosi esami per entrare nell'amministrazione statale indiana erano stati sospesi a causa della guerra e al tempo stesso il Primo Ministro del Punjab aveva istituito un fondo da utilizzare durante la guerra; una parte di questo, tuttavia, rimase inutilizzata e furono così create cinque borse di studio per l'estero. Era il 1946; riuscii ad imbarcarmi su una delle navi stracolme di famiglie britanniche che lasciavano il paese prima dell'Indipendenza Indiana. Se non fossi riuscito a partire

---

<sup>1</sup> Questo testo è il prodotto di diverse interviste del prof. Salam e sarà utile al lettore per capire le ragioni che hanno spinto Abdus Salam a fondare l'ICTP.

quell'anno, non sarei potuto più andare a Cambridge. L'anno seguente, infatti, ci fu la suddivisione tra India e Pakistan e le borse di studio non furono più disponibili.

A Cambridge, ottenni il massimo dei voti nel corso di laurea biennale di matematica. Mi rimaneva ancora un anno (la borsa di studio era per tre): la scelta era seguire un corso più avanzato di matematica – la terza parte del corso – o seguire i corsi di fisica. Su consiglio del mio tutore, Fred Hoyle, che mi disse “Se vuoi diventare un fisico, anche un fisico teorico, devi seguire un corso sperimentale a Cavendish. Diversamente, non riuscirai mai a guardare un fisico sperimentale negli occhi”, divenni membro del Laboratorio di Cavendish dove Rutherford aveva svolto gli esperimenti sulla struttura dell'atomo. Cavendish era un laboratorio eccezionale in campo sperimentale e un punto di riferimento per i fisici di tutto il mondo. Io avevo molto poca pazienza con l'attrezzatura sperimentale. Un buono sperimentale deve avere pazienza con le cose che non sempre si riescono a controllare. Penso che anche un teorico debba essere paziente, ma con le sue stesse creazioni, i suoi stessi costrutti, le sue stesse stupidità.

Il primo esperimento che mi fu chiesto di effettuare fu di misurare la differenza tra le lunghezze d'onda delle due linee D del sodio, le linee più prominenti nello spettro del sodio. Pensai che, tracciando una linea retta sulla carta millimetrata, avrei potuto ricavare la quantità da misurare calcolando la pendenza della retta. Infatti, una retta è definita da due punti e due misure sono quindi sufficienti a definirla; una terza misura serve solo a confermare la pendenza della retta stessa. Impiegai tre giorni a preparare l'apparato sperimentale. Poi, feci tre misure, e portai il mio risultato per la valutazione. A quel tempo, i voti degli esperimenti svolti in classe facevano media con l'esame finale. Portai il mio lavoro a Sir Denys Wilkinson, uno dei supervisori degli esperimenti e dopo aver guardato la mia linea retta, mi disse: “Che tipo di studi hai fatto?”. Gli risposi: “Matematica.” “Lo immaginavo”, disse, “Ti rendi conto che invece di tre valori avresti dovuto prenderne un migliaio e tracciare una linea retta attraverso di essi?” Ma ormai avevo smontato il mio apparecchio sperimentale, e decisi che non potevo più riprovare. Cercai quindi di evitare Wilkinson per tutto il resto dell'anno. Poi uscirono i voti. Era il 1949. Stavo guardando i risultati appesi alla bacheca del laboratorio Cavendish quando arrivò Wilkinson, si fermò dietro di me e mi disse: “Quanto hai preso?” Molto modestamente gli risposi: “Il massimo.” Fece un giro su stesso e poi esclamò: “È la prova che ci si può sbagliare sulle persone.”

Tornai a Lahore nel 1951 e insegnai all'università, ma come fisico ero completamente isolato. Era molto difficile procurarsi le riviste scientifiche e mantenersi aggiornato, tanto che dovetti lasciare il paese per continuare ad essere un fisico. Questa mancanza di contatti è il problema più grande per gli scienziati dei paesi in via di sviluppo. Mancano i fondi, le opportunità, che nei paesi più ricchi, invece, abbondano. Non esistono comunità di persone che lavorano e operano negli stessi campi. È proprio a questo che abbiamo cercato di ovviare al Centro Internazionale di Fisica Teorica, che ho fondato a Trieste nel 1964. Il Centro offre agli scienziati la possibilità di rimanere nei loro paesi e di venire al Centro per fare ricerca per qualche mese, incontrare così colleghi che lavorano nello stesso campo, imparare nuove idee e ritornare a casa con la missione di cambiare la mentalità della gente nei confronti della scienza e della tecnologia nel loro paese.

Tornai a Cambridge nel 1954 come docente e ricercatore presso il St. John's College. Tre anni dopo, accettai la cattedra all'Imperial College di Londra, dove riuscii a creare uno dei migliori gruppi di fisica teorica al mondo.

L'apice della mia carriera di fisico fu nel 1979 quando condivisi il Premio Nobel per la fisica con Sheldon Glashow e Steven Weinberg per l'unificazione dell'elettromagnetismo e della forza nucleare debole nella teoria "elettrodebole" (parola che inventai nel 1978), una delle maggiori conquiste della fisica del ventesimo secolo. Questa teoria aveva fatto delle previsioni che potevano essere verificate sperimentalmente; la più significativa era che esiste una nuova particella ad energie estreme. Per verificare questa teoria dovvemmo convincere i fisici sperimentali che lavoravano nei grandi acceleratori di particelle a costruire nuove attrezzature per creare condizioni simili a quelle che regnavano pochi momenti prima dell'origine dell'universo. Nel 1983, ottenemmo la conferma finale dell'esistenza delle suddette particelle, i bosoni vettori intermedi. Chiamate  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ , queste ipotetiche particelle furono individuate per pochi attimi nelle condizioni "cosmiche" prodotte all'acceleratore del CERN. Questa esistenza temporanea fu sufficiente a dimostrare che la teoria dell'unificazione era un'accurata descrizione della natura fondamentale della materia. Questa verifica sperimentale condusse al riconoscimento del Premio Nobel a Carlo Rubbia e Simon van der Meer nel 1984.

In precedenza, ho accennato alle difficoltà di fare scienza nei paesi in via di sviluppo e a questo proposito vorrei lanciare un appello. I fondi destinati alla scienza nei paesi in via di sviluppo sono esigui e la comunità scientifica si trova ad operare in condizioni molto difficili. I paesi in via di sviluppo devono capire che gli scienziati sono un bene prezioso a cui devono essere date opportunità e responsabilità per lo sviluppo scientifico e tecnologico del loro paese. Spesso i pochi che esistono sono sottooccupati. È necessario che ci siano sempre più scienziati perché un mondo diviso tra ricchi e poveri della scienza e della tecnologia non può restare in equilibrio. È nostro dovere rimediare a questa ingiustizia.

## LA MIA VITA NELLA SCIENZA

---

*Andreas Acrivos*

Levich Institute, City College of CUNY  
New York, USA



© Cortesia di Andreas Acrivos

Sono nato ad Atene, in Grecia, nel 1928. Ebbi la fortuna di vivere un'infanzia felice e di ricevere grande sostegno dalla mia famiglia. Mio padre si laureò in chimica all'Università di Atene e in seguito si specializzò in ingegneria tessile in Belgio. Mia madre, come molte donne della sua generazione, non aveva frequentato l'università; ciononostante, era una persona molto colta, parlava diverse lingue ed era esperta di musica, come lo era mio padre. Ebbi anche la fortuna di essere ammesso ad un'eccezionale scuola superiore fondata dagli americani e conosciuta come Athens College, dove ricevetti un'eccellente istruzione specialmente in matematica e nelle materie classiche. Ero un gran secchione e prendevo sempre i voti più alti in tutte le materie, eccetto in educazione fisica a causa del fatto che, fin da bambino, sviluppai una forte allergia verso qualsiasi attività fisica. Il mio maggiore interesse in quegli anni era la storia, specialmente quella greca, che studiai con grande passione. Nonostante l'occupazione tedesca durante la seconda guerra mondiale e le conseguenti avversità e privazioni, la nostra scuola funzionò più o meno regolarmente, grazie alla dedizione dei nostri meravigliosi insegnanti. Sfortunatamente la nostra educazione scientifica risentì della mancanza di attrezzature e di strumenti di laboratorio.

La fortuna fu ancora dalla mia parte quando, grazie agli sforzi di Homer Davis, il preside dell'Athens College, mi fu offerta una borsa di studio per la Syracuse University dove mi trasferii nell'agosto del 1947 dopo aver viaggiato dalla Grecia su una nave per truppe militari adattata al trasporto civile, piena di immigrati e persone di varie nazionalità, pronte a cominciare una nuova vita nel Paese delle opportunità. Non dimenticherò mai la prima volta che vidi New York e la statua della Libertà. Avendo capito che la professione di storico non mi avrebbe dato da vivere, decisi di specializzarmi in qualcosa di pratico, precisamente in ingegneria chimica che, secondo il mio modo di pensare, combinava la chimica (la materia di mio padre) con la matematica, che trovavo affascinante. A quel tempo l'università era molto affollata, noi studenti non eravamo molto seguiti e mi trovavo quindi spesso a studiare da solo. Mi laureai in 3 anni e, essendo anche qui un "secchione", ricevetti il massimo in tutte le materie fatta eccezione per disegno meccanico e per l'utilizzo del tornio, che facevano parte di corsi che trovavo estremamente noiosi.

Poiché volevo visitare un'altra parte del paese, decisi di proseguire gli studi alla Minnesota University. Fu un fantastico cambiamento perché, nel nuovo ambiente, trovai insegnanti eccezionali tra cui Neal Amundson, che divenne mio relatore, mentore ed amico per la vita. Incontrai inoltre, in un corso di termodinamica, una giovane studentessa cubana, Jennie Vivò Azpeitia, con cui sono felicemente sposato da quasi 50 anni. La mia tesi di dottorato consisteva in uno studio matematico sulla distillazione multicomponente (al tempo, un importante argomento di ingegneria chimica) per il quale dovetti inventare una nuova trasformazione integrale al fine di risolvere analiticamente le importanti equazioni matematiche (sfortunatamente, la mia invenzione non ha trovato altre applicazioni in seguito).

Dopo aver finito gli studi, decisi di tentare di stabilirmi negli Stati Uniti permanentemente ma, nel 1954, le opportunità di assunzione per i non residenti erano estremamente limitate. L'occasione si presentò quando Charles Wilke, allora capo dell'Istituto di ingegneria chimica presso la University of California di Berkeley, mi offrì un incarico di insegnamento temporaneo per 3 semestri dicendo perentoriamente (e lo mise per iscritto) che il mio contratto non sarebbe stato rinnovato. (In realtà l'anno successivo ricevetti una promozione e poco dopo ebbi un contratto a tempo indeterminato). Fu durante i miei anni a Berkeley che sviluppai un certo interesse per la meccanica dei fluidi che, successivamente, divenne la mia prima area di ricerca. In realtà, non conoscevo bene la materia ma vi fui attratto in seguito agli incoraggiamenti di un amico del Laboratorio di Sviluppo della Shell, Thomas Baron, che si accorse che le mie conoscenze di matematica applicata sarebbero state utili. Naturalmente dovetti cominciare a studiare da zero e per conto mio. Fortunatamente, riuscii ad avere un buon numero di dottorandi e poco tempo dopo cominciai a pubblicare articoli di alta qualità, molti dei quali sono citati con regolarità ancora oggi. Un altro grande cambiamento avvenne quando trascorsi il mio primo anno sabbatico a Cambridge, in Inghilterra, dove incontrai George Batchelor, al tempo una stella nascente nella comunità della meccanica dei fluidi, che divenne un grande amico e una guida.

Nel 1962 mi trasferii a Stanford dove, con i miei colleghi più anziani David Mason (che mi assunse) e Michel Boudart (che mi seguì dalla University of California di Berkeley), riuscimmo a creare un dipartimento di ingegneria chimica che, benché piccolo, era di eccezionale qualità e venne riconosciuto, in pochi anni, come uno dei migliori su scala internazionale. Qui le mie ricerche fiorirono grazie alla collaborazione con un altro gruppo di dottorandi eccezionali. La meccanica dei fluidi è una materia davvero affascinante perché è molto visiva e ciò che si vede può essere davvero meraviglioso. Spesso richiede una perfetta combinazione di esperimenti (alcuni dei quali piuttosto impressionanti), sofisticata matematica applicata come l'analisi asintotica e, soprattutto ai giorni nostri, calcoli numerici ad alto potenziale. Per 16 anni, cominciando dal 1982, curai l'edizione de "The physics of fluids". I non esperti che volessero avere un'idea della bellezza e dell'assoluta varietà di questo campo dovrebbero consultare la "Galleria del moto dei fluidi" che appare annualmente nel numero di settembre di questa rivista. Nelle mie ricerche, ho toccato vari aspetti del moto dei fluidi: gli strati di confine, il movimento delle gocce e delle bolle, il flusso dei cosiddetti fluidi "non Newtoniani" come i polimeri fusi, ma il contributo probabilmente più duraturo riguarda la meccanica delle sospensioni che, curiosamente, era anche un capitolo della tesi di dottorato di Albert Einstein. È divertente guardare indietro, al tempo in cui questa materia era considerata praticamente morta; finora, i miei studenti ed io, guidati puramente dalla curiosità,

abbiamo fatto qualche esperimento, trovato risultati totalmente inaspettati, fatto altri esperimenti, compiuto analisi e calcoli numerici, spiegato gli esperimenti a livello quantitativo e così dimostrato che la meccanica delle sospensioni è una materia di gran lunga più affascinante di quanto Einstein avesse previsto. Infatti, negli ultimi vent'anni, ho tenuto numerose conferenze in tutto il mondo, molte delle quali con lo stesso titolo anno dopo anno: "La meccanica delle sospensioni; ultime variazioni su un tema di Albert Einstein". Certamente, anche se il titolo delle mie conferenze rimane lo stesso, il contenuto cambia man mano che si raggiungono nuove scoperte e nuove intuizioni.

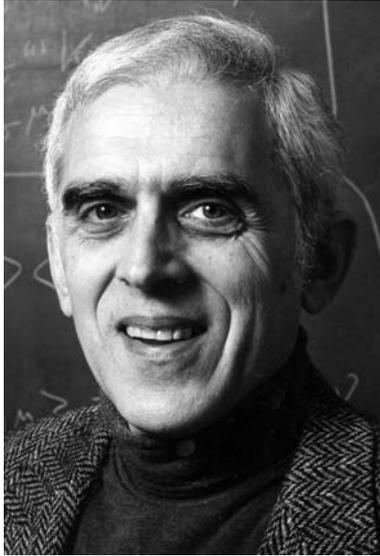
Nel 1988, dopo aver passato 25 anni a Stanford, si presentò una nuova opportunità quando mi fu offerta una delle cattedre dello Stato di New York intitolate ad Albert Einstein e la direzione del Levich Institute al City College della City University di New York. Anche questo si rivelò un colpo di fortuna dato che adoravo la città e la possibilità di lavorare con ottimi studenti dalle grandi ambizioni. Ancora una volta, ebbi la fortuna raccogliere intorno a me dei dottorandi eccellenti, di occuparmi di nuovi campi della fluidodinamica (come gli effetti dei campi elettrici sul moto delle particelle) e di continuare a realizzare nuove scoperte nella meccanica delle sospensioni.

Sono rimasto in contatto con molti dei miei studenti, alcuni dei quali hanno già ottenuto fama internazionale per conto proprio e hanno ricevuto numerosi premi e altre forme di riconoscimento. I riconoscimenti che mi diedero maggior soddisfazione, entrambi assolutamente inaspettati, furono l'elezione alla US National Academy of Sciences nel 1991, e l'assegnazione della National Medal of Science da parte del Presidente degli Stati Uniti alla Casa Bianca, il giorno prima del mio settantaquattresimo compleanno, nel 2001.

## DALLA RADIO ALLA FISICA DELLE PARTICELLE ELEMENTARI

*Stephen L. Adler*

Institute for Advanced Study at Princeton, USA



© Cortesia dell'Institute for Advanced Study

Sono nato a New York nel 1939 da Irving e Ruth Relis Adler. Mio padre era un insegnante di matematica e anche mia madre si era laureata in matematica al college. I miei genitori mi hanno invogliato fin da piccolo a conoscere le scienze. Quando avevo due anni, mio padre mi costruì un porta oggetti con attrezzi di metallo e nello stesso periodo mia madre realizzò una versione casalinga del libro *Pat the Bunny*<sup>2</sup>, che descriveva innumerevoli attività manuali e tattili. Quando divenni un po' più grande, mio padre mi costruì dei giocattoli elettronici: un telegrafo, un antifurto che suonava ogni qualvolta si aprisse la porta e un semaforo in miniatura. Ci dedicavamo anche ad attività naturalistiche in quanto facevamo collezione di farfalle e di serpenti. Ad otto anni partecipai ad un corso di astronomia per ragazzi al Museo di Storia Naturale di New York e il mio interesse per i fossili esposti al museo mi portò a pensare che sarei diventato paleontologo, ma questo interesse svanì presto.

Il percorso che mi condusse verso la mia attuale carriera iniziò in prima media, quando un mio compagno di classe cominciò a parlarmi della sua passione per le radio. Un giorno andai a casa sua per vedere il suo piccolo laboratorio. Questo interesse crebbe fino a diventare una vera passione nei confronti dell'elettricità, delle radio e in generale di tutti gli apparecchi elettronici. Cominciai a costruire dispositivi quali motori elettrici a lamine ricavate da vecchie lattine e uno statore con magnete permanente preso dagli altoparlanti di una vecchia radio. (Ne conservo ancora nel mio ufficio a Princeton). Incoraggiato da mio padre, cominciai a leggere *Elements of Radio* di Abraham e William Marcus. Mio padre decise che io sarei stato l'esperto di radio in famiglia mentre lui sarebbe stato l'esperto dei pochi elementi di algebra presenti nel testo. Ancora su suggerimento di mio padre cominciai a setacciare porta a porta il vicinato con il mio carretto in cerca di vecchie radio, elettrodomestici, televisori, che i vicini avevano intenzione di buttare. Da questi ricavo parti che usavo per costruire radio, amplificatori e persino un oscilloscopio ricavato da un tubo catodico di un televisore da 7 pollici. Imparai anche l'alfabeto Morse, abbastanza da ottenere la licenza di radio amatore e costruì un piccolo impianto usando un ricevitore recuperato da un aereo da guerra e un trasmettitore fatto

<sup>2</sup> Libro tattile e best seller negli Stati Uniti fin dalla sua prima pubblicazione nel 1940. (N.d.T.)

in casa. Tuttavia l'attività di radio amatore non mi interessava tanto quanto gli strumenti elettronici, che costruivo per i progetti di scienza alle scuole superiori.

Data questa predisposizione all'elettronica, sarebbe stato logico intraprendere gli studi di ingegneria elettronica, ma all'inizio della scuola superiore rimasi affascinato dal mondo della ricerca della fisica dell'alta energia. Per due estati la mia famiglia ed io trascorremmo le vacanze in un parco vicino ad Ithaca, nello Stato di New York. Phillip Morrison, un vecchio amico di mio padre, organizzò una visita ai laboratori di fisica di Cornell, dove Robert Wilson aveva costruito un acceleratore di particelle. Mi piacque l'ambiente di questi laboratori e fui impressionato dal fatto che, se avessi intrapreso la carriera di fisico, avrei imparato ad usare l'elettronica, ma non sarebbe stato necessariamente vero il contrario. Al penultimo anno delle superiori avevo già deciso che mi sarei incamminato sulla strada della fisica.

Feci la prima ricerca di fisica in laboratorio alla fine dell'ultimo anno delle superiori, quando partecipai al corso per ingegneri industriali della durata di due settimane sulle tecniche di diffrazione dei raggi X, organizzato dal Brooklyn Polytechnic Institute. Il corso fu tenuto da Isadore Fankuchen, che era solito far partecipare, allora come oggi, lo studente più brillante alle sue lezioni. Fui in grado di capire tutto il lavoro teorico e di laboratorio e di imparare molte cose: la struttura del reticolo cristallino e le trasformazioni di Fourier, gli strumenti di base per un fisico. Poco tempo dopo andai ai laboratori della Bell a Manhattan dove lavorai durante i mesi estivi insieme ad altri otto diplomati delle superiori che avevano intenzione di proseguire gli studi scientifici. Molti di loro avevano già imparato analisi matematica e così anch'io decisi di apprenderla, da autodidatta, in quei mesi.

Mio padre mi diede il suo vecchio testo di analisi, con il saggio consiglio di fare un terzo dei problemi contenuti - dovevo infatti risolvere i problemi per imparare la materia, ma non c'era il tempo (e sarebbe stato troppo noioso) di farli tutti. Così, nel tragitto da casa al lavoro, mi dedicavo ai problemi di analisi e grazie a questa esperienza, quando entrai ad Harvard in autunno, potei frequentare il corso avanzato di analisi e progredire velocemente negli studi di fisica.

Entrai al college proponendomi di diventare un fisico sperimentale, ma l'amicizia con vari compagni di corso, tra cui Daniel Quillen (che in seguito vinse la medaglia Fields) mi portò ad interessarmi alla matematica. Scoprii di essere molto portato per gli aspetti teorici dei corsi ma, benché fossi competente in laboratorio, non potevo dire di essere particolarmente dotato. Così, a metà del primo anno, spostai la mia attenzione dalla fisica sperimentale a quella teorica. Insieme a Fred Goldhaber, che sarebbe diventato il mio compagno di stanza all'università di Princeton, seguii tutte le lezioni avanzate di Harvard durante il primo e l'ultimo anno. Tra i memorabili insegnanti di quel periodo ricordo: Ed Purcell, Frank Pipkin, Paul Martin e Julian Schwinger. Come risultato della mia preparazione ad Harvard, a Princeton fui in grado di sostenere l'esame generale alla fine del primo anno e poi di iniziare la ricerca per la tesi con Sam Treiman all'inizio del secondo.

Treiman mi consigliò di occuparmi dell'area emergente degli esperimenti con neutrino in acceleratore, e questo fu l'inizio della mia carriera nel campo della fisica dell'alta energia. La maggior parte della mia tesi era composta da calcoli sulla produzione di pioni dai nucleoni (protoni o neutroni) colpiti da un fascio di neutrini. Sebbene fosse un progetto lungo ed impegnativo, mi diede la possibilità di studiare le correnti "vettoriali" ed "assiali", attraverso

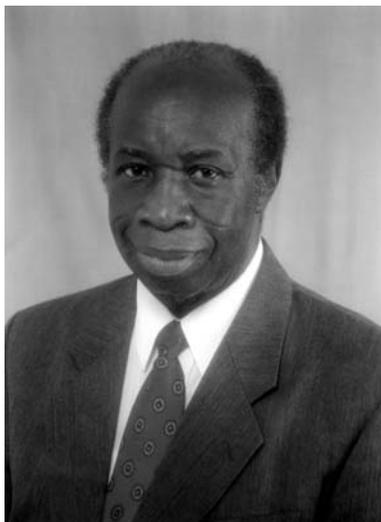
le quali i neutrini interagiscono con i nucleoni. Grazie ai risultati della mia tesi, riuscii ad offrire i miei contributi scientifici più significativi dal 1964 al 1972, in particolare con diverse scoperte legate alle correnti vettoriali ed assiali. Queste ultime comprendevano diversi teoremi di bassa energia sulle emissioni dei pioni derivati dall'ipotesi di una corrente assiale "parzialmente conservata", diverse regole di somma, compresa la regola Adler-Weisberger per gli accoppiamenti assiali ai nucleoni, e una regola di somma per le sezioni d'urto di diffusione fortemente inelastica di neutrini su nucleoni, così come la scoperta (assieme a Bell e Jackiw) delle "anomale" proprietà di divergenza delle correnti assiali. L'analisi teorica delle anomalie ci condusse ad una comprensione più profonda del decadimento dei pioni neutri in raggi gamma che portò ad una delle prime prove del fatto che ogni quark può essere di tre tipi distinti (ora chiamati "colori"), e che ha avuto molte altre conseguenze sulla fisica teorica negli ultimi trentacinque anni.

Dal 1972 mi sono occupato di vari aspetti della fisica teorica dell'alta energia, tra cui la fenomenologia delle correnti neutre, i processi nei campi magnetici forti (come i fotoni che si dividono vicino ai pulsar) e i metodi di accelerazione per gli algoritmi di simulazione Monte Carlo. Negli ultimi vent'anni ho dedicato metà delle mie ricerche allo studio dell'inclusione della meccanica quantistica tradizionale in una struttura matematica più ampia. Una parte di questo lavoro ha portato ad un dettagliato studio sulla meccanica quantistica nella quale i quaternari sostituiscono i soliti numeri complessi. Un altro recente lavoro riguarda lo studio di una possibile meccanica "pre-quantistica" basata sulle proprietà della traccia di una matrice dalla quale la teoria quantistica possa emergere come una forma di termodinamica. Ho scritto libri che descrivono entrambi gli studi. Per i prossimi anni ho in mente di ritornare alla mia area di studio originale, la fenomenologia delle particelle nel contesto di modelli "supersimmetrici", per unificare le particelle elementari e le forze che agiscono su di esse.

## FISICO AFRICANO, CITTADINO DEL MONDO

*Francis K.A. Allotey*

National Centre for Mathematical Sciences  
Ghana, W. Africa



© Cortesia di Francis K.A. Allotey

Sono nato il 9 agosto del 1932 a Saltpond in Ghana, nell'Africa occidentale, lungo le coste dell'oceano Atlantico che in questa zona prende il nome di Golfo di Guinea. Mio padre era un commerciante. Possedeva un negozio e vendeva libri, strumenti musicali ed equipaggiamento da pesca. Mia madre era una sarta, mia nonna materna una pescivendola. Quando ero ragazzino, mia madre periodicamente mi mandava con delle provviste al villaggio di pescatori dove abitava mia nonna chiamato Edumafa, nell'Ekumfi, una zona rurale a circa sei miglia a est di Saltpond. A quei tempi non c'erano strade percorribili con le automobili tra Edumafa e Saltpond perciò io dovevo andare a piedi. In quel villaggio aiutavo i miei zii nella pesca.

Frequentai una scuola elementare cattolica a Saltpond. Dopo le lezioni, il mio compito era quello di spolverare e sistemare i libri nel negozio di mio padre. Ebbi così l'occasione di leggere molti libri fra cui le biografie di rinomati scienziati: Newton, Einstein, Jear Hamilton, Gamow, Galileo, Maxwell e Rutherford. Il

libro "I grandi matematici" di E.T. Bell ebbe una profonda influenza su me. Decisi che anch'io sarei diventato un grande scienziato per imparare il funzionamento dell'universo e contribuire alla sua comprensione. Finite le scuole elementari, frequentai le superiori, il Ghana National College a Cape Coast. La scuola era stata fondata dal dott. Kwame Nkrumah, il primo Presidente del Ghana. Dopo le scuole superiori, mi trasferii in Inghilterra dove frequentai il Borough Polytechnic, oggi chiamato South Bank University, e successivamente mi iscrissi all'Imperial College of Science and Technology. Tra i miei insegnanti, ricordo Abdus Salam, P.M. Blackett, Harry Jones e Eric Eady. Ritornai in Ghana nel 1960 dove insegnai matematica per due anni all'Università Kwame Nkrumah per la Scienza e la Tecnologia.

Nel 1962, mi iscrissi alla Princeton University per conseguire il dottorato di ricerca in fisica matematica. Nel 1960 il Dipartimento di Fisica di Princeton era un posto davvero entusiasmante in cui lavoravano eccellenti professori fra cui Wigner, Wheeler, Dicke, Hopfield, Bargmann e Goldberger. Oppenheimer, Dirac e Yang si trovavano all'Institute for Advanced Study di Princeton ed erano ospiti frequenti del Dipartimento. Durante la mia permanenza a Princeton, Fitch e il suo gruppo stavano lavorando agli esperimenti sulla violazione della simmetria CP per cui avrebbero vinto il premio Nobel. Dicke e i suoi

collaboratori stavano misurando lo schiacciamento polare del Sole, la radiazione cosmica di fondo dell'universo e la costante gravitazionale con la precisione di una parte su cento miliardi. Come studente di dottorato, ho assistito occasionalmente ad alcune misurazioni effettuate dal gruppo di Dicke.

La mia prima ricerca riguardava la teoria quasi-statica del movimento dell'aria nell'atmosfera dovuto a sorgenti di calore e di momento angolare. Successivamente ho lavorato alla teoria della materia condensata. Fui il primo ad introdurre l'effetto di risonanza da scattering elettrone-buca nella spettroscopia dei raggi X soffici. L'effetto è stato osservato nel litio. Sto ancora lavorando a studi teorici dei superreticoli e delle microstrutture, tra cui i nanotubi chirali di carbonio.

Tra le mie pubblicazioni, desidero ricordare: "Photostimulated attenuation of hypersound in superlattices"<sup>3</sup>, "Non-linear acousto-electric effect in semi conductor superlattices"<sup>4</sup> e "Differential thermopower of chiral carbon-nanotubes"<sup>5</sup>. Nel Ghana, alla Kwame Nkrumah University of Science and Technology, sono stato responsabile del Dipartimento di Matematica, preside della Facoltà di Scienze, direttore e fondatore del Dipartimento di Scienza Informatica e ho svolto vari altri incarichi all'interno del Consiglio di Facoltà. A livello nazionale, ho ricoperto la carica di presidente della Commissione per l'Energia Atomica del Ghana in tre periodi diversi, di presidente del Consiglio per la Ricerca Scientifica e Industriale e sono stato fondatore e coordinatore nazionale del Gruppo di Ricerca sull'Energia del Ghana.

A livello internazionale sono stato membro del Board of Governors dell'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica e co-autore del libro "Comprehensive Study of Nuclear Weapons"<sup>6</sup>, un rapporto del Segretario Generale delle Nazioni Unite del 1979. Sono un membro del Consiglio Scientifico dell'ICTP. Attualmente sono presidente della Società dei Fisici e Matematici Africani e lavoro nel campo della Tecnologia dell'Informazione. Negli ultimi 30 anni ho ricoperto diversi incarichi in Africa, Europa, Stati Uniti e America Latina. Sono stato presidente della Williamsburg Conference in International Information Economy in Virginia nel 1986; presidente e organizzatore della sezione dedicata all'insegnamento dell'uso del computer nei paesi in via di sviluppo in occasione di un congresso dell'International Federation of Information Processing (I.F.I.P.) a Melbourne nel 1980; presidente del comitato di discussione sugli aspetti finanziari e quantitativi dell'insegnamento dell'uso del computer al congresso I.F.I.P., a Marsiglia in Francia (1975).

Perché la scienza? A parte la comprensione dell'universo e la percezione di nuove potenzialità, la scienza rappresenta uno dei mezzi essenziali per soddisfare i bisogni fondamentali della società: cibo, acqua, trasporto e comunicazione, energia, ambiente sano, sanità, assistenza, sicurezza e diminuzione della povertà. Grazie alla scienza, ad esempio, in un paese avanzato il fabbisogno agricolo della popolazione è garantito dai contadini, che sono il 3% della popolazione. In Africa, a causa delle scarse conoscenze scientifiche, oltre il 65%

<sup>3</sup> "Attenuazioni fotostimolate di ultrasuoni nei superreticoli." (N.d.T.)

<sup>4</sup> "Effetti elettroacustici non lineari nei superreticolati di semi-conduttori." (N.d.T.)

<sup>5</sup> "Termoelettricità differenziale dei nanotubi chirali di carbonio." (N.d.T.)

<sup>6</sup> "Studio esaustivo sulle armi nucleari." (N.d.T.)

dei cittadini lavora nei campi e tuttavia il fabbisogno della nazione non è soddisfatto. Infatti, il divario nello sviluppo fra il Nord e il Sud è una manifestazione del divario tecnologico.

Come scrissi più di 20 anni fa, "Noi (abitanti dei paesi in via di sviluppo), paghiamo il prezzo del non aver preso parte alla rivoluzione industriale della fine del XVIII secolo, poiché non avevamo modo di sapere cosa stesse succedendo in Europa. Oggi sappiamo che la tecnologia dell'informazione e della comunicazione è diventata uno strumento indispensabile. Questa volta non dovremo perdere questa rivoluzione tecnologica".

A livello locale ed internazionale sono impegnato in politica e in questioni relative alla scienza e alla tecnologia come mezzo per lo sviluppo sostenibile. Nell'area dello sviluppo rurale ho contribuito alla fondazione di 2 scuole elementari a Edumafa e Owamasi nella regione del Ghana centrale e ho fondato l'unica libreria esistente a Saltpond.

Sono socio di molte organizzazioni professionali e culturali come la Third World Academy of Sciences, British Computer Society, Nigeria Solar Energy Society, Institute of Physics del Regno Unito, Ghana Academy of Arts and Sciences, Ghana Institution of Engineers. Sono il patrono della Computing Association of Ghana, della Science Teachers' Association, della Ghana Physics Students' Association e dell'Africa Institute of Mathematical Sciences (Sud Africa).

Per il mio ruolo a favore dello sviluppo e della promozione delle scienze matematiche in Africa, l'African Mathematical Union mi ha conferito un riconoscimento ed una medaglia. Altri ne ho ricevuti dalla Mathematica Association of Ghana e dalla Ivory Coast Mathematical Society, insieme alla medaglia d'oro "Prince Philip" della Ghana Academy of Sciences per il mio contributo alla fisica, nel 1973. Ho ricevuto anche il Premio al merito scientifico dalla Ghana Science Association e il premio dell'African Club della Banca Mondiale/FMI nel 1989. Mi fu assegnata la nomina di Professore Onorario presso l'Università del Michigan, Ann Arbor, U.S.A (1987) per i miei contributi alle scienze fisiche e alla promozione delle relazioni internazionali in ambito scientifico.

Nel 1979, fui invitato dal governo indiano a tenere dei seminari per la durata totale di un mese presso molte università delle seguenti città: Bombay, New Delhi, Calcutta, Hyderabad, Madras Bangalore e Crivandurum.

Mentre ero studente a Londra, sposai Edoris Enid Chandler delle Barbados (Indie Occidentali) che morì nel 1981. Successivamente mi sposai con Asie Mirekuha Akuamoah. Ho quattro figli, due maschi e due femmine, e quattro nipoti.

## RNA E L'ORIGINE DELLA VITA

*Sydney Altman*

Yale University, USA



© Cortesia di Michael Marsland, Yale University, Office of Public Affairs

All'età di circa 6 anni, sapevo della Seconda Guerra Mondiale e di come l'uso della scienza applicata in un'area del Pacifico aveva messo fine al conflitto. La bomba atomica, progettata e costruita dai migliori scienziati, era per me un mistero molto affascinante. Ero anche molto attratto dalla figura del "fisico nucleare" ma nessuno di mia conoscenza sapeva qualcosa di quella scienza né di chi fossero quegli scienziati. Allo stesso tempo, nutrivo anche un certo interesse per il sole e le stelle che ritenevo utili argomenti di studio.

All'età di circa dodici anni, ricevetti in regalo un libro che spiegava alcuni concetti di fisica nucleare e le idee che stavano alla base della Tavola Periodica di Mendeleev. Il libro era abbastanza facile da capire. Non ricordo chi me lo regalò, ma lo trovai incantevole. Rimasi molto colpito dalle idee di Mendeleev sugli elementi e da come egli riuscì a predire l'esistenza di elementi che ancora non erano stati scoperti. Tutto ciò era ai miei occhi un esempio chiaro e valido del potere e del fascino della scienza. Sognavo che un giorno

anch'io sarei diventato un fisico nucleare e questo desiderio fu alla base dei miei studi, in un primo momento di fisica e in seguito di biologia molecolare, al momento di frequentare l'università.

Ritengo opportuno far presente che provenivo da una famiglia di immigrati e fu solo grazie all'istruzione universitaria virtualmente gratuita e all'incoraggiamento dei miei genitori che vedevo nello studio una possibilità di crescita, che fui in grado di iscrivermi all'università.

Il mio contributo alla scienza che probabilmente sarà ricordato per un po' di tempo riguarda gli studi sull'acido ribonucleico (RNA). L'RNA dentro le cellule viventi è una copia esatta di regioni di acido desossiribonucleico (DNA). I geni sono costituiti da DNA. Per molti anni si pensava che l'RNA riflettesse il materiale genetico contenuto nel DNA, sebbene si sapesse che determinati segmenti di RNA esercitavano delle funzioni non enzimatiche all'interno delle cellule (non controllavano le reazioni chimiche all'interno delle cellule). Nel 1983, i miei collaboratori ed io scoprimmo che alcuni segmenti di RNA erano, di fatto, catalitici ovvero controllavano reazioni chimiche all'interno delle cellule. Questi studi, e quelli di molti altri scienziati che giunsero a scoperte simili, hanno dimostrato che ci sono molti RNA con funzione enzimatica all'interno delle cellule. Attraverso queste scoperte, è anche

cambiata la nostra opinione sull'origine della vita sulla Terra e sul modo in cui si sono attivate le prime reazioni chimiche ed enzimatiche (reazioni di catalisi all'interno delle cellule).

## LA MATEMATICA: SLANCI DI FANTASIA INTERDISCIPLINARI

*Michael F. Atiyah*

University of Edinburgh, UK



© Cortesia di Michael F. Atiyah

La matematica è una materia impegnativa ma affascinante che ha esercitato la mente umana per migliaia d'anni, attraverso molte culture e civiltà. La sfida intellettuale, tradotta in ingegnosi ed eleganti problemi, è sempre stata una grande attrattiva per me. La risoluzione di tali problemi necessitava di un attento ragionamento, ma, alla fine, dava sempre grande soddisfazione. È una bellezza, quella della matematica, difficile da descrivere a coloro che la considerano un noioso calcolo. È la bellezza di un paesaggio che può essere impervio, ma le cui vette spiccano luminose.

A scuola ero, come molti altri, attratto anche dalle gioie della chimica. Mescolare colorate soluzioni nelle provette era un gran divertimento, ma in fin dei conti la chimica a quel livello mancava dell'attrazione intellettuale e della coerenza della matematica.

Proprio verso la fine del mio ultimo anno di scuola, l'insegnante di matematica ci introdusse nell'affascinante mondo dei quaternioni. Furono scoperti dal grande matematico e fisico irlandese del diciannovesimo secolo, Sir William Rowan Hamilton. Impressionato dal potere e dalla bellezza dei numeri complessi  $x+iy$ , Hamilton provò per anni ad estenderli ad un'algebra contenente tre variabili reali  $(x, y, z)$  che avrebbe creato l'ossatura per la fisica dello spazio. Alla fine, arrivò alla famosa scoperta secondo cui tale algebra (ora chiamata quaternioni) doveva includere quattro variabili reali  $(x, y, z, t)$  e che, inoltre, la legge della moltiplicazione non sarebbe più stata commutativa. Perciò, per due quaternioni  $q_1, q_2$  i prodotti  $q_1q_2$  e  $q_2q_1$  potevano essere diversi.

La storia della scoperta di Hamilton è una delle leggende della matematica. Egli sosteneva di aver avuto l'ispirazione durante una passeggiata in campagna in seguito alla quale, sul muro del ponticello che stava attraversando, scrisse le famose equazioni, per i valori "immaginari"  $i, j, k$

$$i^2 = j^2 = k^2 = -1, \quad ij = -ji = k \text{ etc.}$$

Mi sono innamorato dei quaternioni, per il loro fascino intrinseco senza dubbio enfatizzato dalla fantastica storia della loro scoperta. Lessi con molto interesse di come Hamilton e i suoi colleghi li applicarono alla geometria tridimensionale e alla fisica matematica.

Qualche anno dopo, all'Università di Cambridge, con delusione scoprii che dei quaternioni non veniva fatta menzione. Le mie domande ottennero solo risposte negative – i quaternioni non erano stati quella grande scoperta che Hamilton aveva pensato, ma erano solo di secondaria importanza.

Circa trent'anni dopo, quando ero ormai un matematico affermato, nuove ed entusiasmanti cose stavano emergendo alla frontiera fra la matematica e la fisica. Fui profondamente coinvolto in questa nuova interazione quand'ecco che ritrovai la mia passione giovanile, i quaternioni, proprio al centro dei nuovi sviluppi (con la misteriosa quarta variabile reale corrispondente al tempo).

Questo episodio mette in luce molti aspetti di ciò che rende la matematica e le scienze così affascinanti. Innanzitutto, le buone idee hanno vita lunga e spesso tornano alla ribalta dopo essere state ignorate per diversi anni. In secondo luogo, le buone idee scavalcano i confini nello stesso modo in cui i quaternioni, che nascono come algebra, sono passati prima alla geometria e poi alla fisica. Infine, le idee sono la creazione di singoli uomini e parte della nostra storia intellettuale comune.

La relazione tra varie discipline, come l'algebra, la geometria, l'analisi e la fisica è stato il vero fulcro della mia vita professionale. Il mio principale contributo al legame di queste materie è una formula (conosciuta oggi come teorema dell'indice di Atiyah-Singer) che dà il numero delle soluzioni di un'equazione differenziale in termini geometrici. Spesso queste connessioni sono del tutto inaspettate e producono una nuova luce sotto cui guardare vecchi problemi. A mio avviso una delle grandi attrattive della matematica, è proprio la sua capacità di "muoversi con fantasia" tra le varie discipline. Mi auguro che sia sempre così.

---

**SCIENZA DEL XXI SECOLO**


---

*Grigory I. Barenblatt*

Lawrence Berkeley National Laboratory, USA



© Cortesia di George Bergman

Le nazioni guida del XXI secolo saranno quelle in cui i grandi problemi nazionali e globali saranno compresi e valutati dalla maggioranza della popolazione. Gli eroi di queste comunità saranno gli scienziati di grande lungimiranza e abilità nel selezionare e spiegare le problematiche di primaria importanza e nell'ottenere il supporto (pubblico e privato) necessario a risolverle. Ricordo ancora come sono diventato un matematico applicato. Volevo fare lo storico, tanto che avevo persino intenzione di inoltrare domanda alla Scuola Diplomatica di Mosca. Poi una sera, prima di andare a letto, presi per caso un libro che mi aveva regalato mio nonno, un rinomato geometra. Lessi che un semplice modello matematico poteva spiegare il funzionamento di un importante dispositivo dell'ingegneria chimica. Fui colto da grande

entusiasmo ed ebbi la sensazione che quello sarebbe stato il mio futuro: costruire modelli matematici di importanti fenomeni reali. La storia è rimasta una passione a cui mi dedico durante il tempo libero, come indicato nel libro "Who is Who" alla voce "hobby" della sezione a me dedicata. Gli scienziati con grandi idee e capacità organizzative esistono, emergono con il tempo e compiono passi di importanza storica: Leo Szillard, ad esempio, fu lo scienziato americano di origini ungheresi che elaborò il testo della lettera (sottoscritta, non molto entusiasticamente, da Albert Einstein) indirizzata al presidente F.D.Roosevelt riguardo l'importanza della costruzione della bomba atomica. Quando Roosevelt decise di rifiutare la proposta (sebbene ora sia difficile da credere), Szillard trovò un caro amico del Presidente e gli sottopose il problema, persuadendolo ad intercedere. Questi andò da Roosevelt e gli chiese: "Frank, pensi che se Napoleone avesse perseguito l'idea di Fulton, l'inventore del motore a vapore, la cartina politica della Terra sarebbe la stessa?" E Roosevelt diede il via libera al progetto, denominato "Manhattan Project", la cui rilevanza e valore sono ben noti. Al giorno d'oggi, l'opinione pubblica e gli scienziati pensano che non esistano problematiche così importanti da rendere necessaria una sinergia tra scienziati di ampie vedute. Questo è profondamente sbagliato! Problemi di questo tipo esistono e sono noti a tutti. Innanzi tutto, vi sono i disastri naturali su larga scala, di cui darò due esempi.

- (1) **Uragani tropicali.** Le conseguenze di tali disastri sono enormi, le perdite materiali e morali spaventose. I meteorologi al giorno d'oggi sono capaci di prevederli con molta accuratezza: questo è un grande successo. Un primo importantissimo passo nel creare modelli sperimentali degli uragani tropicali fu eseguito dall'ultimo grande matematico inglese, Sir James Lighthill, il quale per primo riteneva che le catastrofi naturali fossero

un problema di primaria importanza per la matematica applicata. Mi invitò a contribuire ai suoi studi sugli uragani. La domanda cruciale è se sia possibile impedire o almeno ridurre la potenza degli uragani tropicali. La risposta è sì. Gli uragani tropicali hanno una particolarità: vi è sempre, sopra la superficie del mare, uno strato d'aria dello spessore di circa cento metri, pieno di grosse gocce d'acqua. Queste gocce riducono la turbolenza nello strato d'aria e attenuano in maniera rilevante la resistenza della superficie del mare nei confronti del vento. È come se la superficie del mare diventasse scivolosa. Le differenze di pressione atmosferica, che senza questi strati produrrebbero solo lievi o moderati venti, provocano gli uragani. Il problema tecnico è come evitare la formazione di gocce d'acqua in zone a rischio. Teoricamente è chiaro quello che bisogna fare e, sebbene sia fattibile, è necessario un notevole impegno. In queste situazioni gli scienziati devono dirigere il lavoro, com'è successo per il "Manhattan Project".

- (2) **Previsione dei terremoti.** Anche questo è un fenomeno che provoca incalcolabili perdite, soprattutto in termini di vite umane, ma anche di beni materiali e morali. Vi sono molti istituti di **sismologia** in cui operano persone con conoscenze scientifiche di altissimo livello. L'obiettivo definitivo del loro lavoro dovrebbe essere la previsione dei terremoti ma mi chiedo se questi specialisti siano in grado di **prevedere** tre, due o anche un solo terremoto di grande magnitudo. Voglio sottolineare il fattore tempo: **prima** dell'evento non **dopo**, a disastro avvenuto. Esistono numerosi articoli scritti **dopo** che dimostrano anche in modo molto persuasivo che un terremoto di una certa entità doveva scatenarsi esattamente a quell'ora (o mezz'ora prima) ed esattamente in quel luogo. Ma dov'erano gli autori di tali articoli prima del terremoto? Inoltre mi chiedo perché gli animali (cani, serpenti, ecc. - fatto risaputo) siano in grado di sentire in anticipo un terremoto mentre gli scienziati affermati, no! Penso siano necessarie nuove figure carismatiche: scienziati di alto profilo che sappiano coordinare gli sforzi delle persone che lavorano per loro. È chiaro che un terremoto è un fenomeno causato da molteplici fattori, ragion per cui dovrebbero essere individuati i fenomeni più importanti per poi monitorarli adeguatamente. Si tratta di un lavoro enorme ma non impossibile e dovrebbe essere realizzato! È importantissimo che il lavoro si concluda solo nel momento in cui sarà raggiunto un risultato concreto: la previsione precisa del luogo e del momento in cui si scatenerà un terremoto di grossa entità. Proprio come per il "Manhattan Project" e per il suo equivalente sovietico: l'unico obiettivo era il buon esito dell'esplosione! Questo lavoro durerà anni, forse uno o due decenni, ma non secoli. Il momento è giusto: l'umanità vuole che la scienza produca qualcosa di interessante e accessibile a tutti, anche ai non addetti ai lavori, e senza lunghe spiegazioni preliminari. Una volta fui incaricato di rispondere alla domanda se gli UFO (dischi volanti) fossero solo una leggenda, il prodotto dell'immaginario collettivo, o se ci fosse un fondo di verità. Si sono svolti importanti lavori, sono stati raccolti molti dati e si è giunti alla conclusione che gli UFO sono un interessante fenomeno atmosferico, mai rilevato prima. Le caratteristiche osservate (forma regolare discoide, riflessione della luce, ecc.) sono state dimostrate mediante un modello del fenomeno. L'articolo che ne risultò fu pubblicato, dopo essere stato attentamente esaminato dal Presidente dell'Accademia e da alcuni esperti, sulla principale rivista dell'Accademia Russa delle Scienze con un titolo poco accattivante. Riportai questo modello nel mio libro dedicato alla matematica applicata, la mia materia. Questo modello arrivò fino ai giornali ed è facile immaginare cosa successe subito dopo: richieste di

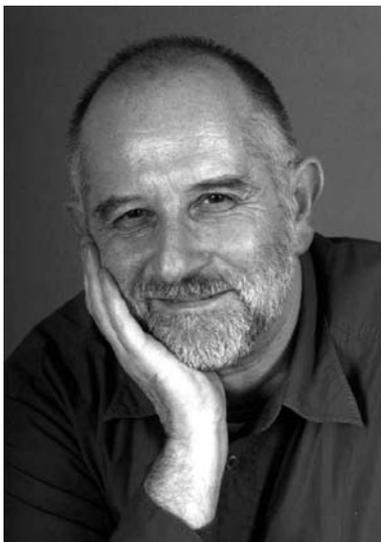
interviste, chiamate telefoniche, ecc. Non volevo essere associato agli ufologi che, è risaputo, non sono certo considerati scienziati professionisti, quindi cercai il più possibile di evitarli. Una volta fui addirittura rapito! Ricevetti una telefonata da un uomo che disse di essere un rappresentante della Società Moscovita per l'esplorazione della Natura, un'antica istituzione molto prestigiosa. Mi disse che la Società mi invitava a parlare degli UFO e a fornire una presentazione puramente scientifica. Accettai. All'ora concordata arrivò una lussuosa auto sotto casa mia, salii e, cominciai il tragitto, mi accorsi che ci stavamo dirigendo nella direzione sbagliata. Chiesi spiegazioni e mi fu risposto che la sede centrale era in restauro. Il tragitto era molto lungo e si fece buio. La macchina si fermò dinanzi ad una chiesa vicina ad un grande cimitero di Mosca. La guardia che mi stava scortando mi fece scendere dall'auto ed entrare nella chiesa piena di persone che aspettavano il mio discorso. Capii di essere capitato nel "nido" degli ufologi e decisi di fare l'unica cosa possibile: utilizzare lo schermo e il proiettore a mia disposizione e mostrare le diapositive. Iniziai a spiegare, in modo puramente scientifico, il modello matematico del fenomeno e la sua corrispondenza con le osservazioni. Il pubblico era molto coinvolto e rispettoso e presto dimenticai dove mi trovavo e il modo in cui ero stato condotto lì. Conclusa la mia presentazione, risposi a domande e commenti, alcuni molto interessanti ed appropriati, per più di un'ora e mezza. Un signore del pubblico mi fece notare, senza nessuna ostilità, che una delle immagini da me utilizzate non era una fotografia, bensì il disegno di un artista che aveva assistito ad uno di questi eventi. Tenni conto dell'osservazione, non dandole tuttavia peso. Il Presidente, uno dei più noti ufologi moscoviti, presentatosi come il capitano in pensione Azhazha, concluse: "Siamo molto grati al prof. Barenblatt per avere chiarito la nostra posizione. Sono sicuro che il suo modello spiega il 98% dei fenomeni. Noi ci occupiamo del restante 2%, costituito da piccoli omini verdi, ecc. Lei è d'accordo, professore?" Risposi molto diplomaticamente che forse era più del 2%, ma non ero in grado di provarlo! Mi resi conto di quanto la nostra comunità fosse assetata di conoscenza scientifica e che è dovere e responsabilità degli scienziati colmare questa sete illustrando problematiche di interesse pratico.

In conclusione non posso che ripetere ciò che ho detto all'inizio. L'umanità ha di fronte a sé problemi di gigantesca importanza, risolvibili solo da gruppi di scienziati carismatici che sappiano circondarsi di validi collaboratori. Essi dovrebbero anche ricevere il sostegno di leader forti e saggi in grado di saper scegliere le giuste problematiche e le persone adatte. Questi scienziati leader saranno i veri eroi delle nazioni avanzate nel XXI secolo.

## VIVERE CON LA FISICA

*Michael Berry*

H.H. Wills Physics Laboratory  
Bristol, UK



© Cortesia di Michael Berry

Se la vostra conoscenza scientifica si basa principalmente sulle informazioni sentite in TV, potreste avere l'impressione che si tratti di un'attività strana, lontana anni luce da ciò che sta a cuore alla gente. Ma la scienza non è una cosa remota, anzi: il mondo è collegato in modi strani e meravigliosi. Provate a pensarci: molti di voi possiedono un lettore CD. Potete portarlo ovunque, in spiaggia, in alta montagna, nei boschi, nel deserto, perfino al Polo Nord, e ascoltare musica riprodotta in maniera quasi perfetta. Ciò non è sempre stato possibile nella storia dell'umanità. Nei secoli passati, per poter ascoltare della musica, bisognava andare a sentirla dal vivo. Ma ora abbiamo la strabiliante libertà che in ogni parte del mondo, ognuno può condividere questa esperienza. In un certo senso è un successo democratico: ora è accessibile a tanti ciò che in passato era prerogativa solo di pochi. Com'è accaduto tutto ciò? Sembrerà strano, ma è successo grazie ai sogni di un fisico.

All'interno di ogni lettore CD c'è un laser. La sua luce rimbalza sui dossi e sui solchi del disco e l'elettronica converte il segnale in suono. Il laser non è stato scoperto accidentalmente, ma è stato *progettato*, applicando ciò che *comprendiamo* riguardo alle onde e particelle di luce e questo a sua volta è una conseguenza diretta della *fisica quantistica*, che ci fornisce la visione più profonda dello strano mondo minuscolo che sta dentro gli atomi. Il laser funziona grazie ad un principio scoperto da Einstein all'incirca un centinaio di anni fa. Era pura teoria, un sogno ad occhi aperti. Einstein non si sarebbe mai aspettato che cinquant'anni dopo altri scienziati avrebbero applicato questo principio per creare la luce.

Allo stesso modo, nessuno avrebbe mai immaginato che gli ingegneri avrebbero usato il laser per poter leggere la musica. Ma non si tratta solo di laser: i circuiti elettronici che convertono la musica in suono contengono milioni di transistor, altri congegni progettati usando la fisica quantistica. E non si tratta solo di ingegneria e fisica: progettare il modo in cui i dossi ed i solchi nel CD rappresentano la musica richiede la matematica: aritmetica, trigonometria, algebra, per citare solo alcuni argomenti che molti, a torto, ritengono non avere nessun uso pratico.

I lettori di CD non sono gli unici apparecchi che fanno uso di queste tecnologie: le casse dei supermercati hanno un laser, i telefoni cellulari hanno un milione di transistor. Quello che voglio far notare è che queste sono *macchine quantistiche*. Tutti questi sono apparecchi costruiti grazie alla fisica quantistica, dove idee molto astratte sono applicate ad invenzioni pratiche di uso quotidiano.

Sono un fisico teorico e lavoro alla fine di questa catena di connessioni; sono uno che sogna e che fa scarabocchi, di matematica, soprattutto. È un errore credere che solo i matematici facciano matematica. A volte in fisica è necessaria una matematica che non è ancora stata inventata, quindi la creiamo noi e i matematici arrivano dopo e la sistemano – e ovviamente accade anche il contrario: capita che dobbiamo fare nuovi tipi di addizioni, e scopriamo che cento anni fa i matematici ci avevano anticipato, con una pura riflessione che pensavano nessuno avrebbe mai trovato utile (come la storia del laser). Nel mio lavoro, mi occupo di onde (di luce, sull'acqua, nella fisica quantistica e altri tipi di onde). Sono particolarmente affascinato dalle connessioni, partire cercando di capire perché le immagini nei grandi telescopi sono sfuocate e poi scoprire che abbiamo spiegato le brillanti linee di luce che danzano sul fondo delle piscine.

La vita dello scienziato mi si addice, perché non sono una persona molto competitiva. Questo può sembrare strano, perché nell'immaginario collettivo, grazie ai media, gli scienziati sono visti come degli sciacalli che stanno sempre col coltello alla gola gli uni degli altri, che fanno di tutto per pubblicare una determinata scoperta prima dei colleghi e per raccogliere fondi di ricerca. Siamo uomini e queste cose a volte succedono, ma in tutti questi anni mi è quasi sempre successo il contrario: non competizione ma collaborazione amichevole e condivisione dei risultati ottenuti. Non perché gli scienziati siano migliori degli altri: nella nostra vita privata siamo come tutti. Collaboriamo semplicemente perché la natura è talmente misteriosa che nessuno può svelare questi misteri da solo/a. Siamo molto più 'bravi' insieme che da soli, per cui ha senso cooperare. Questa collaborazione funziona attraverso le culture, le nazioni, le razze, le religioni. Che io sia in Gran Bretagna, negli Stati Uniti, in Africa, in Cina, in Libano o in Israele, tra noi scienziati c'è una comunicazione immediata e una buona comprensione (fortunatamente gli scienziati parlano inglese).

Quando ho iniziato, non sapevo niente di tutto questo: sognare, trovare connessioni, viaggiare, collaborare. Nella mia famiglia, solo un cugino ha continuato a studiare dopo i sedici anni. Non era una famiglia ricca né felice la mia: mio padre faceva il tassista ed era un uomo violento; mia madre si era rovinata la vista cucendo, cercando di guadagnare un po' di soldi che mio padre avrebbe sprecato al gioco. Ho avuto la fortuna di esser nato in una società dove la ricchezza non era un requisito per ricevere un'istruzione. L'istruzione è la chiave di tutto.

Qualche riga fa ho scritto solo/a. La metà dei bambini del mondo sono femmine. Perché così tanto del loro talento creativo viene sprecato? A questo proposito desidero puntualizzare che l'idea che la scienza sia un'attività maschile è del tutto sbagliata. Ho menzionato poco fa la collaborazione piuttosto che la competizione: una caratteristica più femminile che maschile.

Inoltre, spesso la scienza è associata ai gadget e ai giocattoli per bambini maschi. A me piace cucinare, e sono lieto di avere un collega che si occupa della scienza della cucina – da lui chiamata gastronomia molecolare e che consiste nell'applicazione della fisica e della

chimica a ciò che noi chiamiamo “materia condensata soffice”. Al momento, il mio collega collabora con un celebre chef per creare nuove meravigliose pietanze (per esempio il gelato perfetto istantaneo, ottenuto inzuppando la miscela nell’azoto liquido).

E ancora, spesso si sente dire che è difficile essere uno scienziato e allo stesso tempo formare una famiglia. Mia moglie è biologa e lavora in una Clinica Oculistica sulla terribile malattia della secchezza oculare. Dato che quando nacquero i nostri figli lei stava ancora studiando, per i primi diciotto mesi della loro vita li ho cresciuti io nel mio ufficio. Un’esperienza interessante, insolita per un uomo e molto istruttiva (tra l’altro, ho imparato la miracolosa tecnologia dei pannolini usa e getta).

Le cose stanno cambiando. L’anno scorso sono stato membro di due comitati: uno era preposto all’assegnazione del più importante premio in Gran Bretagna per la ricerca matematica. Dopo 150 anni il premio è stato assegnato ad una donna. L’altro assegnava una borsa di ricerca a favore dei sei più brillanti giovani matematici europei; i due premi principali sono stati assegnati a due donne. In Gran Bretagna, è la Royal Society (la nostra Accademia delle Scienze) che premia i migliori giovani ricercatori di qualunque disciplina e che assegna centinaia di sovvenzioni ogni anno. L’anno scorso, molti di questi fondi sono stati assegnati a delle donne. Le cose stanno cambiando.

L’emozione di una scoperta scientifica sta nell’arricchimento personale che ne riceviamo, in quella soddisfazione silenziosa di aver capito qualcosa. In questo campo, quando si scopre qualcosa di nuovo, anche una piccola cosa, si è al settimo cielo per giorni. Ed è proprio questo a darmi gioia.

## COME SONO DIVENTATO UN FISICO

*Nicolaas Bloembergen*

University of Arizona, USA



© Cortesia di Nicolaas Bloembergen

Da ragazzo, nei Paesi Bassi, frequentai il liceo classico ad Utrecht, una città di circa un milione di abitanti. Ogni giorno, per andare dalla nostra casa di periferia fino a scuola, percorrevo in bicicletta circa 20 Km. I miei genitori mi incoraggiavano sempre allo studio e all'attività sportiva. Il percorso formativo del liceo era incentrato sullo studio di sei lingue e della storia, ma fortunatamente furono i bravi insegnanti di matematica e scienze a catturare la mia attenzione. All'università decisi di iscrivermi a fisica, perché ritenevo che fosse la materia più impegnativa e stimolante; mi affascinava soprattutto la descrizione matematica dei fenomeni fisici, come il moto dei corpi materiali e la direzione delle onde luminose.

La vita di Marie Curie e Albert Einstein, due famosi scienziati dei miei tempi, erano per me particolarmente affascinanti. All'università non mi consideravo particolarmente brillante da specializzarmi in fisica teorica ma al tempo stesso imparai che il lavoro di laboratorio spesso comportava ostacoli e risultati negativi. Fare nuove scoperte è, tuttavia, molto

emozionante, anche se si ottengono con pochissima intuizione (1%) e tanto sudore (99%). Durante la Seconda Guerra Mondiale, i Paesi Bassi furono occupati dalle forze tedesche e le autorità naziste chiusero l'Università di Utrecht nel maggio 1943. Ciononostante io continuai a leggere testi di fisica per i due anni successivi, fino a che non fummo liberati dalle truppe Alleate.

La mia costanza fu premiata quando, all'inizio del 1946, fui ammesso al Dipartimento di Fisica dell'Università di Harvard a Cambridge (Massachusetts, USA). Fui il primo studente del professor Edward M. Purcell ad ottenere il dottorato; nel 1952, il prof. Purcell ricevette, assieme a Felix Bloch, il Premio Nobel per la Fisica per la scoperta della risonanza magnetica nucleare nella materia condensata. Il mio lavoro di ricerca sul rilassamento magnetico nucleare era molto emozionante e consisteva di una combinazione tra teoria ed esperimenti. I risultati furono pubblicati in un articolo cui spesso ci si riferisce con "BPP", dalle iniziali degli autori N. Bloembergen, E. M. Purcell e R. V. Pound. Nel 1948 non ci rendevamo conto che i risultati del nostro lavoro avrebbero svolto, un quarto di secolo più tardi, un ruolo fondamentale nello sviluppo della risonanza magnetica per immagini. Questa tecnica di

diagnostica medica, alla quale è stato assegnato nel 2003 il Premio Nobel per la Fisiologia e la Medicina, è ora importante quanto i raggi X.

Se durante gli anni difficili della guerra nutrii mai dei dubbi sul fatto di diventare uno scienziato, questi svanirono nel 1946. La ricerca scientifica era entrata in un'età dell'oro e io ne feci parte attivamente per altri cinquanta anni.

Come professore ad Harvard, insegnare alle nuove generazioni di studenti è stata una bella esperienza e collaborare con loro, discutere e riceverne le critiche è stato particolarmente utile. Dal momento che la scienza è una disciplina universale ed internazionale, ho partecipato con piacere a varie conferenze internazionali e sono stato professore visitatore presso parecchie università in Francia, Germania, Olanda, India e Stati Uniti.

I miei primi studi sul fenomeno di rilassamento magnetico portarono all'invenzione nel 1956 di sistemi di pompaggio di amplificatori basati sull'emissione stimolata della radiazione, noti come "maser" e "laser". Concentrando l'energia della luce nello spazio e nel tempo si potevano ottenere intensità molto elevate o flussi di corrente. In seguito ciò avrebbe costituito un nuovo campo di ricerca inerente alle proprietà ottiche dei materiali ad intensità luminose molto elevate, chiamato "ottica non lineare".

Ancora una volta, ebbi la fortuna di constatare che il laser e l'ottica non lineare portavano alla nascita di importanti tecnologie. Il laser è ampiamente usato in medicina e chirurgia, nelle comunicazioni a fibre ottiche e nelle industrie di costruzione e lavorazione di materiali.

A posteriori, la scelta di diventare un fisico, maturata più di sessantacinque anni fa, è stata molto gratificante. Attualmente, le scienze biologiche, la geofisica e la cosmologia presentano forse delle sfide maggiori. Le nuove tecnologie, che hanno una profonda influenza nella società contemporanea, sono tutte basate su principi scientifici ed è quindi necessario che i futuri leader dei nostri Paesi siano a conoscenza del metodo scientifico. Chiunque abbia un minimo di curiosità, dovrebbe prendere in considerazione una formazione scientifica; forse rimarrebbe così affascinato dalle problematiche poste dalla natura da decidere di diventare uno scienziato.

## LA MATEMATICA È ANCHE REALTÀ

*Enrico Bombieri*

Institute for Advanced Study at Princeton, USA



© Cortesia di Enrico Bombieri

Sono nato a Milano nel novembre 1940 e a Milano frequentai le scuole elementari, poi a Montepulciano in Toscana per il periodo dalle scuole medie fino al liceo. Alle elementari andavo bene in tutto, con una eccezione: di recente, ho ritrovato un mio quaderno di scuola con l'annotazione per i miei genitori della maestra della terza elementare, che diceva "Scarso in aritmetica". La maestra era bravissima, ero io che non sapevo fare le somme! Le cose cambiarono rapidamente e cominciai ad essere interessato a tutto quello che era scientifico. In casa trovai nella biblioteca paterna libri di matematica, tra cui alcuni divulgativi, che eccitarono la mia curiosità.

Mio padre, vedendo questa mia passione per i numeri, pensò bene che fosse il caso di consultare il parere di una persona esperta e così a quindici anni incontrai Giovanni Ricci, professore di matematica all'Università di Milano. Ricci era una persona straordinaria con i suoi studenti e mi prese subito sotto la sua ala, guidando i miei primi passi. Ricci mi insegnò come scrivere un lavoro scientifico. Mi diceva sempre che è indispensabile leggere direttamente e citare tutti i lavori di altri autori pertinenti ad una ricerca. Ricci mi insegnò l'etica nella scienza. È necessario dare sempre

credito a chi dovuto per l'origine delle proprie idee, anche se sono ispirate solamente da una conversazione o una breve osservazione. Inoltre, mai fare affermazioni senza averle verificate in ogni dettaglio. Se si fanno errori, ammetterli e non cercare di difenderli ad ogni costo o, peggio, di nasconderli. In questo modo pubblicai il mio primo lavoro di matematica a sedici anni, su una equazione da risolvere in numeri interi. Non era un lavoro importante ma conteneva una curiosa idea che era nuova.

Finito il liceo classico, continuai i miei studi a Milano con Ricci. La mia tesi di laurea fu su un noto problema sulle funzioni di una variabile complessa, la congettura di Bieberbach. Pur non risolvendola completamente, la tesi rappresentò un buon passo avanti sulla questione. La soluzione completa fu trovata molti anni dopo da Louis de Branges in un lavoro rimasto famoso. Così è spesso la matematica, procedendo per piccoli passi fino al punto di fare il grande passo avanti.

Dopo la laurea passai un anno a Cambridge studiando teoria dei numeri con Davenport. Davenport era un famoso matematico ma era anche modesto e un insegnante straordinario, sempre disponibile con i suoi studenti. Davenport mi invitò a passare un anno a Cambridge dopo avere sentito una mia conferenza ad un convegno in Germania, dove mi presentai come un giovane playboy con una macchina sport ultimo modello. Questa mia comparsa diede origine alla storia che io facevo le corse con la macchina, fino a correre nelle ventiquattr'ore di Le Mans! La verità è che io non ho mai messo piede su un circuito per macchine da corsa.

L'anno successivo scrissi il mio migliore lavoro riguardante i numeri primi, ottenendo una versione ottimale del "crivello largo". Un risultato simile fu ottenuto in modo indipendente dal matematico russo A.I. Vinogradov e questo risultato è correntemente chiamato il Teorema di Bombieri e Vinogradov. Dopo più di quaranta anni, questo risultato continua ad essere usato in teoria dei numeri. Trasferitomi a Pisa, la mia ricerca si mosse in nuove direzioni con la geometria algebrica e la teoria delle superfici di area minima. Nel 1974 ricevetti la Fields Medal, considerata il massimo onore per un giovane matematico. La notizia che mi era stata data la Fields Medal arrivò del tutto inaspettata e fu una grandissima sorpresa per me. La medaglia è grande, in oro massiccio, e davanti ha il simbolo della Unione Matematica Internazionale e sul retro ha un ritratto di Archimede; sul bordo c'è il nome di chi la riceve, con l'anno di assegnazione. Tre anni dopo accettai un posto come professore all'Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey. L'Institute è un bellissimo posto, dove studiosi da tutto il mondo vengono ogni anno per fare ricerca nelle scienze e nelle lettere. È un posto speciale, in modo particolare per i giovani, dove la mente può spaziare in completa libertà.

Certamente non sarei riuscito a diventare un buon matematico senza l'aiuto dei miei insegnanti, dalla scuola elementare all'università fino ai miei primi passi come insegnante e ricercatore. Nel mio lavoro parlando con i giovani cerco di imitare i miei insegnanti, per donare un poco quello che ho ricevuto da loro.

Il mio sogno come matematico è di risolvere l'Ipotesi di Riemann, che è di fondamentale importanza per comprendere la misteriosa distribuzione dei numeri primi. Tuttavia la mia vita non si limita alla matematica, anche se essa ne rappresenta una buona parte dato che è la cosa che so fare meglio. Io faccio molto disegno e pittura ma nulla di astratto. Invece dipingo ritratti e scene con persone, animali e la natura. Nello sport mi piacciono il baseball, il tennis e il calcio. Mi piace anche la musica, in particolare la musica antica e popolare.

La matematica è una scienza meravigliosa, piena di bellezza e sorprese non appena uno si impadronisce del difficile linguaggio necessario per capirla. Essa è la scienza della logica e delle relazioni, ma è anche così varia da somigliare ad un giardino con magnifiche piante e splendidi fiori. Tuttavia, la matematica e le scienze non sono tutto, vi sono cose assai più importanti nella vita e prima di tutto vi è l'umanità. Io ho avuto una figlia gravemente minorata, ma che è stata meravigliosa in molte cose. Mia figlia ha sempre lavorato moltissimo per superare le sue difficoltà fisiche ed è stata un bellissimo esempio per tutti coloro che hanno lavorato con lei. Io ho imparato da lei più cose sulla vita che da tutta la matematica e scienze che ho studiato. Mia figlia è stata l'evento più importante della mia vita, più importante di tutti i successi e degli onori che ho ricevuto.

---

## IL DOVERE DI AVVICINARE IL PUBBLICO ALLA SCIENZA

---

*Edoardo Boncinelli*

Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati  
Trieste, Italia



© Cortesia di Edoardo Boncinelli

“Due cose sole mi preme conoscere: l’anima e Dio. Nulla più? Assolutamente nulla.” Fu quanto affermò il filosofo Agostino sedici secoli or sono. Fin da fanciullo e da adolescente ho manifestato curiosità per la struttura del mondo, dai corpi celesti agli atomi e alle particelle subatomiche che lo compongono – l’equivalente moderno di Dio. Le modalità di funzionamento del cervello, invece, e la vera natura di quelle entità che chiamiamo mente e comportamento – l’equivalente moderno dell’anima – sono state oggetto di ricerca nella seconda parte della mia esperienza scientifica. Dopo una giovanile passione per la filosofia – principalmente Spinoza, Kant e Husserl – maturai un profondo interesse per i risultati della fisica moderna. Da adolescente ero solito divorare testi divulgativi o semi-divulgativi che avevano a che fare con le idee della relatività o della nuova fisica atomica; quasi inevitabilmente, dunque, la mia scelta cadde sulla facoltà di fisica dell’Università di Firenze, dove condussi anche alcune pionieristiche ricerche sperimentali sulle sorgenti laser di intensi fasci di luce.

Tuttavia, appena laureato decisi di passare alla biologia. Fu un cambiamento drastico, da fisica a biologia e da Firenze a Napoli. Un cambiamento di cui non ho mai avuto ragione di pentirmi.

A cambiare la mia vita fu un libretto di Isaac Asimov intitolato *Il codice genetico*. Nel 1966 il codice genetico era stato appena scoperto ed era conosciuta la struttura di appena una manciata di piccole proteine. Il libro era scritto come un giallo e mi rivelò il mondo degli intriganti ed ancora irrisolti misteri della biologia. Feci allora richiesta per una borsa di studio e partii alla volta di Napoli, persuaso che mi sarei fermato solo qualche anno. Invece ne trascorsi 23, dal 1968 al 1991. Iniziai a studiare il moscerino della frutta, la famosa *Drosophila*, sicuramente l’organismo più conosciuto dal punto di vista genetico. La configurazione degli incroci genetici si rivelò per me molto semplice, soprattutto rispetto alla risoluzione di problemi di fisica, così iniziai a pubblicare alcuni articoli interessanti in merito alla caratterizzazione di alcuni geni, proprio in concomitanza con l’inizio dell’Era della Biologia Molecolare.

Nel 1981 decisi di intraprendere lo studio della genetica molecolare dei mammiferi, incluso l'uomo, e nel 1985, quasi accidentalmente, la mia carriera ebbe un'enorme svolta. Mentre ero in viaggio per Boulder, Colorado, dove avrei partecipato ad un Congresso di Biologia, rimasi intrappolato per sette ore in un terminal dell'aeroporto di New York assieme ad altri scienziati. Fra questi c'era Walter Gehring, di Basilea (Svizzera), che aveva appena compiuto un'incredibile scoperta nello studio dello sviluppo di *Drosophila*. Era nota la presenza nell'insetto di una famiglia di geni, detti omeogeni, con un ruolo determinante per il controllo dello sviluppo delle varie parti del corpo. Una mutazione di uno solo di questi geni potrebbe provocare la nascita di insetti con quattro ali invece che due, otto zampe invece che sei o addirittura con un paio di zampe innestate sul capo. Walter era appena riuscito ad isolare tre di questi geni ed aveva osservato che essi erano collocati nella medesima zona, che venne subito battezzata omeobox. La scoperta dimostrava che i geni hanno un'origine comune e agiscono secondo un meccanismo comune. Oggi è risaputo che essi producono proteine del nucleo preposte al controllo dell'attività di molti altri geni. Sono i "geni del controllo guida", che dettano le regole del progetto generale del corpo e impongono le loro decisioni ad un certo numero di "geni esecutori".

Walter Gehring mi disse tutto ciò in quelle sette ore che passammo assieme, ed io immediatamente capii che volevo studiare quei geni, sperando che qualcosa di simile potesse esistere nei mammiferi. Tornato a casa, in un paio di giorni il mio gruppo di ricerca riuscì a dimostrare che effettivamente era così. Nei mammiferi, e di fatto in ogni organismo evoluto, esistono geni quasi identici a quelli del moscerino, che esercitano ovunque la medesima funzione: sottoporre a controllo lo sviluppo di tutte le parti del corpo. Studiai questi geni, detti geni HOX, nei topi e negli uomini e formulai una serie di modelli del loro funzionamento.

Nel 1991 mi trasferii in un laboratorio più grande, a Milano, e abbandonai lo studio dei geni HOX per concentrarmi su geni simili preposti al controllo dello sviluppo del cervello. L'identificazione di tali geni dimostrò al di là di ogni dubbio che lo sviluppo del cervello è controllata dagli stessi identici geni in uomini, topi, rane, mosche, vermi rotondi fino ai più elementari vermi piatti. Si trattò di una scoperta totalmente inaspettata. Più precisamente, riuscimmo a dimostrare che uno di questi geni, EMX2, ha un ruolo fondamentale nello sviluppo della corteccia cerebrale, la porzione più preziosa del nostro cervello che ci distingue da tutte le altre specie di organismi viventi. Ulteriori ricerche su questi geni potrebbero presumibilmente condurci alla profonda comprensione di ciò che accade quando si hanno disordini cerebrali quali l'epilessia, i ritardi mentali e alcune malattie psichiche. Sulla scia di queste scoperte sono diventato sempre più interessato al funzionamento del cervello, che non è solo un argomento di pura speculazione, ma potrebbe essere oggetto di studi sperimentali nell'ambito delle cosiddette Neuroscienze Cognitive.

Fin dal 1966 ho dedicato parte del mio tempo alla scrittura di libri volti alla divulgazione di alcuni degli aspetti della moderna ed eccitante biologia molecolare, ricordandomi di quanto fossero stati importanti per me i libri di questo tipo quand'ero ragazzo. Ho anche tenuto conferenze e scritto articoli su quotidiani spiegando alla gente cosa sono oggi la scienza e la biologia e quali apporti possano dare a tutti noi. Lo considero un dovere e spero che contribuirà ad avvicinare il pubblico alla scienza, perlomeno nel mio paese.

---

**CIRCA SESSANT'ANNI DI FLUIDODINAMICA**


---

*Peter Bradshaw*

Stanford University, USA



© Cortesia di Peter Bradshaw

All'inizio degli anni '40, in Inghilterra gli adolescenti pensavano che lo Spitfire fosse il miglior aeroplano mai costruito. Uno di loro, ne è tuttora convinto. Ad ogni buon conto, ero ancora piccolo quando nacque in me l'interesse per gli aeroplani: a soli 10 anni diventai membro del Model Aircraft Club di Torquay (Devon). Passai le fasi in cui volevo diventare pilota e poi progettare aerei ma, dopo essermi laureato in ingegneria aeronautica, decisi che volevo dedicarmi alla ricerca. Allora, verso la fine degli anni '50, molti aerei non superavano lo stadio di prototipo, se ci arrivavano, e questo mi spinse verso la ricerca "pura" piuttosto che verso lavori a progetto; se il progetto falliva, tutto il lavoro andava perso. Certo la ricerca, come la verità, "raramente è pura e non è mai semplice": preferii intraprendere una ricerca che trovasse un'applicazione abbastanza diretta, possibilmente immediata ed a scopi prevalentemente pacifici. La stampa e l'opinione pubblica non sanno mai con certezza che differenza ci sia fra scienza e tecnologia, ma è semplice: la scienza cerca di stabilire come funziona l'universo e perché; la tecnologia utilizza questa conoscenza, nel bene o nel male.

Il moto dei fluidi è governato dalle equazioni di Navier-Stokes che, sebbene siano basate sui semplici principi di conservazione della massa e della quantità di moto, sono complicate e molto difficili da risolvere, dal punto di vista numerico naturalmente: non ci sono molte soluzioni esatte non banali. Gli ingegneri sono principalmente interessati al flusso turbolento, al movimento instabile e vorticoso che forma i cumulonembi e i piccoli vortici che si formano quando versiamo il latte nel tè. Il calcolo completo e numericamente esatto di tutti i moti turbolenti in un determinato periodo richiede al giorno d'oggi un tempo di calcolo estremamente dispendioso, a meno che non si tratti di flussi abbastanza semplici e su scala ridotta. Gli ingegneri devono quindi usare metodi approssimativi e "semi-empirici", non usando esplicitamente le equazioni del moto esatte, ma basandosi in parte su dati sperimentali. A mio avviso, la fluidodinamica è tuttora attraente proprio per questo duplice ricorso a soluzioni esatte ma difficili e a misurazioni su larga scala o in laboratorio. Alcuni rami della scienza o dell'ingegneria o sono completamente dominati dal calcolo, oppure devono affidarsi completamente alla sperimentazione per mancanza di una teoria quantitativa.

Forse è proprio perché i flussi turbolenti sono così complicati che mi piace ancora guardare le nuvole, le correnti d'acqua e perfino il latte che si mescola nel tè. Quando fumare era ancora di moda, le riunioni di lavoro passavano più in fretta guardando il fumo delle sigarette dei colleghi...

Una delle personalità più note in fluidodinamica, ora defunto, presentando all'Università di Stanford i risultati della sua ricerca, disse che le scoperte scientifiche sono più eccitanti del sesso. Il pubblico, per la maggior parte studenti di dottorato, rimase dell'opinione che qualcuno, l'oratore o loro stessi, si stava perdendo qualcosa, ma non sapeva decidere chi. I momenti emozionanti alla "eureka" non sono così comuni in una materia ben sviluppata come la fluidodinamica rispetto a campi più nuovi come la nanotecnologia o la biotecnologia, ma esistono. Il momento di maggiore soddisfazione è quando una predizione finisce per essere vera. Ricordo che una volta mi era venuta un'idea per il progetto di una galleria del vento che provai in fretta e furia in laboratorio. Non funzionò e ne fui veramente deluso. Poi scoprii che nella fretta avevo assemblato male l'attrezzatura del test e, una volta ripetuto, la mia idea si rivelò essere corretta. Riuscii quindi a dare un suggerimento ai disegnatori di gallerie del vento, che è tuttora seguito.

Uno degli aspetti più gratificanti di questo lavoro è che i ricercatori sono una famiglia internazionale. Sento di avere più in comune con un ricercatore in fluidodinamica dall'altro lato del mondo che con un medico della mia città. Quando si incontrano dopo molto tempo colleghi che vivono lontano, ci si sente subito a casa. Alcuni scienziati sono più simpatici di altri, ma pochi sono veramente insopportabili – una persona inaffidabile o falsa non potrebbe lavorare in questo campo. Le discussioni di stampo scientifico sono sempre condotte in modo obiettivo e di solito si risolvono rapidamente, a differenza di quelle su argomenti più frivoli.

Maynard Keynes ha detto che gli economisti sono i guardiani non della civiltà ma della *possibilità* della civiltà. Credo che lo stesso potrebbe dirsi di molti altri rami della scienza e delle tecnologie di cui sono al servizio.

Prima di iniziare un esperimento o un calcolo, bisognerebbe chiedersi a che cosa servirà il risultato. Nel caso della meccanica dei fluidi, l'obiettivo è migliorare i metodi di previsione ad uso degli ingegneri, dei meteorologi, degli oceanografi, degli astrofisici, ecc... Tali sviluppi si ottengono o con una migliore comprensione, quantitativa o anche solo qualitativa, oppure con serie di dati più accurati per calibrare o verificare i metodi di previsione.

## L'ELETTRICITÀ NON È STATA INVENTATA PROVANDO A FARE CANDELE MIGLIORI

*Edouard Brézin*

Ecole Normale Supérieure, France



© Cortesia di DRFP / Odile Jacob

Il mio interesse per la fisica nacque... per sbaglio. Inizialmente ero interessato alla matematica, ma un giorno iniziai a leggere un libro di testo sulla meccanica quantistica; rimasi affascinato dal ruolo che la fantasiosa base matematica ricopriva nella teoria e così decisi di studiare fisica. Sono molto felice di aver preso questa decisione, sebbene sia stata chiaramente basata su una ridicola analisi di cui mi vergogno ancora oggi. Infatti, l'essenza e la bellezza della fisica quantistica non si trovano nella matematica astratta ma si rivelano al meglio nelle situazioni più semplici che illustrano le caratteristiche più sorprendenti della teoria.

Ebbi la fortuna di laurearmi in un periodo in cui la Francia stava facendo un enorme sforzo per avviare la propria ricerca. In particolare, l'energia nucleare stava per diventare una dei protagonisti della società industriale. Mi fu offerto un posto di lavoro al Saclay, un laboratorio nazionale che apparteneva alla Commissione per l'Energia Atomica, prima che io sapessi leggere o scrivere. In ogni modo non lavorai ai

reattori nucleari, poiché la libertà intellettuale in quell'ambiente era tale da permettere di fare anche fisica di base.

Ricordo che uno dei miei insegnanti a Les Houches, un magnifico posto sulle Alpi dove si tenevano le scuole estive (a quel tempo duravano otto settimane), elencò i principali problemi di quel tempo:

- capire le forze nucleari, deboli e forti
- capire le oscillazioni presso un punto critico
- ottenere una buona teoria della turbolenza
- riconciliare la meccanica quantistica e le forze gravitazionali

A distanza di trentasette anni mi sento estremamente privilegiato di essere stato testimone di tanti progressi durante la mia vita, in particolare per quanto riguarda le questioni appena elencate. Le forze nucleari deboli sono state inserite in un'unica teoria dell'elettromagnetismo;

le forze nucleari forti, che legano permanentemente i quark all'interno dei nucleoni, sono state comprese anche alla base di una generalizzazione del principio di simmetria che sta alla base dell'elettromagnetismo (simmetria locale di gauge).

Le oscillazioni critiche sono state capite grazie ad una serie di nuove idee, conosciute come "il gruppo di rinormalizzazione", che ha influenzato anche molte altre aree della scienza nella quale avvengono fenomeni simili (o frattali). Ho trascorso diversi decenni su queste questioni e ho un ottimo ricordo di questo periodo entusiasmante della mia vita scientifica. Non ho mai lavorato sulle correnti turbolente in idrodinamica ma oggi si sa molto di più in proposito.

La questione della gravità dei quanti è ancora molto lontana dall'essere risolta, ma se le idee che sono attualmente oggetto di studio (la teoria delle "superstringhe") sono giuste, essa avrà profonde conseguenze sulla nostra visione del mondo; per esempio potrebbero esserci più delle tre dimensioni spaziali che attualmente vediamo.

Lo stato attuale della fisica mi sembra particolarmente aperto. Dopotutto vediamo soltanto il 3% del contenuto energetico dell'Universo. La maggior parte è rappresentata da un'"energia oscura", un'energia del nulla che allunga l'Universo e aumenta la velocità della sua espansione. Se le idee attuali su un nuovo tipo di simmetria, la "supersimmetria", sono giuste, dovremmo cercare il riflesso del nostro zoo di particelle elementari. Questo potrebbe essere un'importante componente della materia oscura mancante dell'Universo. Le conoscenze attuali circa le interazioni fondamentali portano a nuove ricerche; per esempio le costanti della fisica sono costanti o cambiano col tempo? Quei valori sono casuali o fissati da alcuni principi che devono essere ancora scoperti? Quando conosceremo la gravità dei quanti, conosceremo anche tutte le leggi base della fisica o ci troveremo di fronte a nuove domande irrisolte?

Sarebbe un grave errore credere che la fisica sia limitata a questi principi "fondamentali". La più piccola quantità di materia è composta da una miriade di elementi e più siamo in grado di capire diverse forme di ordine e disordine, più si manifestano nuove forme di materia che ancora non conosciamo. La natura sa come aggirare i teoremi matematici: per esempio le simmetrie quintuple non sono possibili per le strutture cristalline, ma la natura ci ha dato i quasi-cristalli che invece usano questa simmetria.

Il ventesimo secolo è stato caratterizzato dalla meccanica quantistica. Nata in seguito alla comprensione dello spettro atomico, è progressivamente diventata il linguaggio della chimica, della fisica nucleare, della fisica dello stato solido (con il suo mondo della tecnologia dell'informazione), dei laser, ecc. Considerata inizialmente come il linguaggio per pochi specialisti teorici, è diventata in qualche modo il motore del nostro tempo. Oggi gli scienziati stanno esaminando l'ultima novità del mondo dei quanti: il calcolo quantistico, che usa gli aspetti apparentemente paradossali del mondo dei quanti, l'intrecciarsi o la non separabilità delle parti di un sistema più grande. Esso potrà generare dei cambiamenti significativi nella nostra tecnologia informatica.

Tutti possono vedere quanto la scienza, la fisica in particolare, abbia cambiato la nostra visione del mondo ed abbia influenzato la nostra tecnologia; comunicazioni, produzione di energia, produzione di immagini in medicina sono solo pochi chiari esempi. Questi progressi non sono stati raggiunti provando a migliorare le tecnologie esistenti: "l'elettricità non è stata

inventata provando a fare candele migliori” e non c’è ragione di credere che il nostro secolo sarà diverso da questo punto di vista.

Copyright © ICTP

## UNA VITA DI LETTERATURA, SCIENZA, INGEGNERIA, ECONOMIA E POLITICA

*D. Allan Bromley*

Yale University, USA



© Cortesia di Bachrach

Sono nato in una fattoria del Canada Settentrionale; ho frequentato le elementari e le superiori in scuole che avevano rispettivamente una e due aule. Della mia generazione, sono l'unico esponente della mia famiglia (e delle famiglie dell'intera regione) che, soprattutto a causa della Grande Depressione, ha proseguito gli studi.

Con l'aiuto di mio nonno, imparai a leggere correttamente all'età di quattro anni e già prima di terminare le superiori avevo sviluppato un certo interesse per la scienza e la tecnologia, non perché avessi avuto degli insegnanti eccezionali, ma in quanto mi furono affidate le chiavi degli armadietti contenenti i manuali di laboratorio di chimica e fisica e bramavo dalla voglia di imparare.

Potei iscrivermi alla Queen's University solo perché vinsi una competizione nazionale per il miglior tema sui danni provocati dall'alcol, un argomento di cui all'epoca non sapevo assolutamente nulla. I buoni

voti in inglese e all'esame del *General Proficiency*<sup>7</sup> mi procurarono anche diverse borse di studio, un sostegno finanziario cui la mia famiglia non poteva provvedere.

Il tema che mi valse la vittoria alla gara nazionale fece pensare a tutti, me compreso, che avrei conseguito la laurea in letteratura inglese e infatti mi iscrissi a quel corso di studi per il primo anno di università. Alla fine di quell'anno, fui invitato (e fu un grande onore) a passare invece alla facoltà di ingegneria fisica, che includeva sia la fisica che l'ingegneria elettrica.

Mi laureai a pieni voti e durante l'estate lavorai come ingegnere operativo per Ontario Hydro alle Cascate del Niagara e decisi che avrei continuato gli studi di fisica oppure che sarei passato a chirurgia. Su invito del prof. J.A. Gray, uno dei giganti della scienza canadese, decisi di unirmi al suo gruppo di ricerca. Per il master, l'ambito della mia ricerca era la fisica nucleare. Durante l'estate, lavorai ad Ottawa per il National Research Council of Canada<sup>8</sup> come ricercatore nel campo dei raggi cosmici. Grazie a questa esperienza, fui chiamato all'Università di Rochester (subito dopo le nozze con Patricia Brassler) per lavorare con il gruppo di ricerca sui raggi cosmici guidato dal prof. Helmut Bradt e dal prof. Bernard Peters.

<sup>7</sup> Esame per valutare la conoscenza generale degli studenti prima dell'accesso all'università (*N.d.T.*).

<sup>8</sup> Consiglio Nazionale Canadese per la Ricerca (*N.d.T.*)

Appena una settimana dopo il mio arrivo, il prof. Bradt morì e il prof. Peters fu deportato in quanto accusato di essere filocomunista. Il programma di ricerca fu interrotto.

Con una certa amarezza, passai alla fisica nucleare, al secondo ciclotrone da 27 pollici esistente al mondo, anche se da lungo tempo defunto. Con un altro dottorando, riuscimmo a renderlo nuovamente funzionante. Fui uno dei primi studiosi statunitensi a studiare le reazioni di *stripping* per dimostrare che l'azoto 14 e il carbonio 14 avevano entrambi parità positiva (un sostegno importantissimo alla tesi di validità del modello nucleare a *shell*).

Con l'aiuto del prof. Harry Fulbright di Princeton, il "nostro" ciclotrone divenne il primo al mondo ad energia variabile. Con l'incarico di professore assistente, continuai la mia ricerca fino al 1955, quando mi trasferii al Chalk River Laboratories of Atomic Energy of Canada Limited (uno dei più importanti laboratori di ricerca canadesi). Assieme ai miei qualificatissimi colleghi dimostrammo che, usando un generatore Van de Graaf da 4MV e il solo e unico litro di gas  $^3\text{He}$  esistente al mondo, il modello collettivo e il modello *shell* introdotti da Bohr, Mottelson e Nilsson a Copenaghen per descrivere i nuclei più pesanti del ferro, potevano con ancor maggior successo descrivere il neon 20 e il magnesio 25.

Coadiuvati dall'ingegneria elettrica, progettammo e costruimmo il primo acceleratore Tandem da 5MV con cui il mio gruppo effettuò le prime misurazioni di ioni pesanti e scoprì il primo complesso molecolare nucleare del carbonio con se stesso. In seguito apprendemmo che si trattava di un'importante caratteristica di tutte le reazioni con ioni pesanti. Questa scoperta fu possibile solo perché, mentre eravamo in attesa del Tandem, McKay ed io svilupparammo il primo rivelatore di precisione a base di silicio per le particelle cariche.

Nel 1960, mi trasferii all'Università di Yale, dove mi fu subito chiaro che l'acceleratore di ioni pesanti HILAC era stato progettato da e per i chimici nucleari e così ricorsi all'ingegneria elettrica per la progettazione e la costruzione del primo Tandem mondiale da 10MV che installai nel nuovo Laboratorio Nucleare "A.W. Wright" di Yale.

Nei successivi 25 anni, fu il laboratorio che sfornò il più alto numero di dottorandi del mondo. Continuammo gli studi sui fenomeni degli ioni pesanti e dimostrammo che il modello *shell*, inizialmente sviluppato per descrivere nuclei leggeri, funzionava ancor meglio per descrivere i nuclei pesanti tipo il piombo.

Tra il 1970 e il 1977, dopo aver acquisito la cittadinanza americana, fui Presidente del Dipartimento di Fisica, Direttore del Laboratorio Wright e occupai la Cattedra di Fisica "Henry Ford II". Ho anche ricoperto l'incarico di Direttore in molte compagnie della Borsa di New York, un'esperienza molto istruttiva.

Nell'ultima parte di questo periodo, mi occupai sempre più della politica scientifica a livello nazionale ed internazionale: fui Presidente della National Academy's Physics Survey Committee, membro del National Science Board, Presidente dell'American Association for the Advancement of Science e dell'International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) ed infine membro del White House Council del Presidente Reagan per cui mi occupai delle relazioni bilaterali scientifiche e tecnologiche tra gli Stati Uniti e vari Paesi (India, Brasile e l'Unione Sovietica).

Nel 1988 il Presidente Reagan mi insignì della Medaglia Nazionale della Scienza e nel 1989 divenni il primo Assistente di Gabinetto del Presidente degli Stati Uniti per la Scienza e la Tecnologia. In questo periodo, pubblicammo la prima dichiarazione sulla politica tecnologica americana e consolidammo la cooperazione tra il governo federale e il settore privato americano per lo sviluppo delle tecnologie generiche ed incrementammo la cooperazione e la comunicazione tra più di venti agenzie governative, dotate di fondi consistenti per la ricerca e lo sviluppo. Ci occupammo anche di ampliare la cooperazione internazionale.

Nel 1993 ritornai a Yale con l'intento di creare un gruppo di esperti in politiche pubbliche che agevolasse la comprensione e la cooperazione tra il governo federale e il settore privato, ma questa iniziativa dovette aspettare, poiché fui nominato Rettore della facoltà di Ingegneria di Yale, con l'incarico di ricostruirla per la prima volta dopo trent'anni. Nel 2000, alla fine del mio incarico, avevamo aggiunto un nuovo Dipartimento di Ingegneria Biomedica e corsi di Ingegneria Ambientale e Matematica Applicata, destinati a diventare dei Dipartimenti veri e propri. Durante il mio incarico, riuscii a raccogliere 50 milioni di dollari per progetti di ingegneria e nuovi posti di professore; inoltre, fui anche Presidente dell'American Physical Society. Nel 1999 divenni il primo ed unico Sterling Professor of the Sciences<sup>9</sup> di Yale.

Ho pubblicato più di 500 articoli, ho lavorato alla stesura e all'edizione di più di venti libri ed ho ricevuto 33 dottorati onorari da varie Università in Canada, Cina, Francia, Italia, Sudafrica e Stati Uniti. Se ritornassi indietro, non cambierei nulla del mio percorso: dalla letteratura inglese, alla fisica, all'ingegneria, all'economia fino alla politica pubblica. Mi sono divertito a lavorare in tutte queste discipline. Cambiare settore è importante per mantenere vivo l'interesse intellettuale e un certo acume e suggerirei a tutti gli scienziati ed ingegneri di interessarsi anche alle politiche pubbliche e alle attività governative per ricambiare almeno in minima parte tutte quelle opportunità ed attività offerteci dal settore pubblico.

---

<sup>9</sup> Titolo che denota l'altissima qualità professionale (*N.d.T.*)

## SAREBBE MAGNIFICO DIMOSTRARE QUALCOSA

*Lennart A.E. Carleson*  
 Royal Institute of Technology  
 Stockholm, Sweden



© Cortesia di Lennart A.E. Carleson

La mia decisione di diventare un matematico maturò solo molto lentamente. Da bambino imparai a leggere (alla rovescia) all'età di 4 anni, seduto di fronte a mia sorella di 3 anni più grande. I miei genitori mi lasciavano dimostrare agli ospiti che ero in grado di moltiplicare a mente numeri di 2 cifre (probabilmente non di 3). Il mio primo approccio con una matematica più seria avvenne quando avevo 16 anni e acquistai alcuni libri di testo universitari. Ricordo di essere stato affascinato per lo più da enunciati come:  $1 - 1/3 + 1/5 \pm \dots = \pi/4$ . All'età di 17 anni iniziai gli studi all'università di Uppsala e fu naturale scegliere materie come matematica, fisica teorica e statistica. A 19 anni conseguii il diploma in scienze. Sembrava tutto molto semplice e non avevo ancora idea di cosa fosse veramente la matematica né di cosa avrei fatto in futuro. Arne Beurling era il professore ad Uppsala. Tenne un corso sull'analisi complessa e a quel punto mi trovai di fronte un argomento che mi stupì e ad una personalità che mi colpì profondamente. Fu in quel

momento che decisi di continuare gli studi di matematica. Non ero di sicuro di essere all'altezza della carriera universitaria, ma in quel periodo (1947) una laurea era sempre garanzia di lavoro, pertanto potevo stare tranquillo. La mia decisione fu agevolata anche dal fatto che Beurling mi offrì un lavoro all'istituto per qualche ora a settimana a 40\$ al mese, che poco dopo divenne un lavoro a tempo pieno a 160\$ al mese.

Qualche tempo dopo iniziai il dottorato. Beurling mi consigliò di leggere i libri della *Collezione Borel*, circa 10 libri sull'analisi moderna di allora, scritti in francese dai migliori matematici d'oltralpe (Borel, Lebesgue, La Vallée Poussin, Montel). Non sapevo cosa Beurling avesse in mente, ma leggere testi scientifici senza preoccuparsi di doverli studiare in vista degli esami è un sistema alquanto valido proprio ai fini dell'apprendimento della materia. Pertanto mi recai in libreria e li ordinai. Comprai anche il libro di Zygmund sulle Serie Trigonometriche, e lessi che il problema se la serie di Fourier di una funzione continua debba convergere ovunque è un problema ancora aperto dai tempi di Fourier nel 1807. Di questi libri, mi è rimasto solo quello di Zygmund, stampato in Polonia nel 1935. I libri erano tutti in edizione economica e uno dei miei cani ha mangiato la colla dei libri francesi; evidentemente la colla polacca non è molto buona.

Conseguì il dottorato nel 1950 e nel 1954 mi fu assegnata la cattedra di professore. Guardando indietro, posso dire che ancora non sapevo cosa fossero realmente la matematica o la risoluzione di problemi. Mi ci vollero altri 4 anni, all'età cioè di 30, nel 1958, per scrivere il primo articolo che ancora considero abbastanza interessante. Vi sono due tipi di ricerca matematica e pertanto due tipi di matematici, sebbene la distinzione non sia così netta. Da un lato è importante elaborare sistemi di idee o mettere insieme concetti di origine diversa. Dall'altro, la risoluzione di problemi permette di ottenere risultati nascosti. Quest'ultima suscita più attenzione sebbene non sia più importante. Un recente e famoso esempio è "l'ultimo teorema di Fermat":  $x^n + y^n = z^n$  non ha soluzioni positive nell'insieme dei numeri interi  $x, y, z$  per  $n \geq 3$ . Wiles fa uso, nella sua dimostrazione, di molte idee precedenti sui sistemi. Ad ogni modo io mi sono sempre interessato di problemi e quindi è su questo che devo concentrarmi.

Generalmente si riteneva che il problema di Fourier sopra citato avesse una risposta negativa, ovvero si credeva che vi fosse una serie di Fourier di una funzione continua divergente ovunque. In teoria, per risolvere questo problema, si potrebbe cercare di dimostrare il risultato positivo e poi quello negativo usando la stessa quantità di tempo. In pratica, questo non funziona. Possiamo concentrare i nostri sforzi solo se convinti della correttezza dell'enunciato. Nel 1965, in contrasto con il pensiero comune, riuscii finalmente a dimostrare il risultato positivo, perché avevo un argomento non rigoroso e, a mio modo di vedere, convincente. Nel caso appena menzionato, ci sono voluti quasi 20 anni per risolvere il problema. Di certo non mi sono dedicato solo a quello in tutti quegli anni, ma comunque dei tempi così lunghi sono abbastanza normali. È un esempio indicativo delle caratteristiche necessarie per essere un matematico.

Solitamente la gente pensa che un bravo matematico abbia un'intelligenza incredibile, sia dotato di una mente superiore e risolva i problemi con un lampo di genio. A molti matematici piace questa descrizione, ma secondo la mia esperienza è completamente sbagliata. Esiste un gruppo molto, molto ristretto di geni, con una mente veramente speciale per la matematica. Gauss ne è un esempio per la risoluzione di problemi e Newton, Einstein, Hilbert o Grotendieck per la costruzione di sistemi. Ho incontrato solo poche persone come loro. Per la maggior parte di noi – Premi Nobel inclusi – la qualità più importante, oltre certamente ad un buon intelletto, è la perseveranza e la capacità di concentrazione. Persino Newton ci dice di aver scoperto le leggi di gravità dopo "averci continuamente pensato su". La psicologia dietro questo approccio sta nel credere in se stessi e nel proprio lavoro. Lo stesso avviene nello sport e a questo proposito vorrei raccontare un aneddoto che illustra il mio punto di vista.

La Svezia non vanta una tradizione nello sci alpino – abbiamo la neve, ma non montagne paragonabili alle Alpi. In Europa, invece, i migliori sciatori sono eroi nazionali. Ciononostante, negli anni '70 Ingemar Stenmark, del piccolo villaggio di Tärnaby, in Svezia, divenne il migliore sciatore europeo nelle prove alpine. Pochi anni dopo, la Svezia vantava 3 sciatori tra i 15 migliori in Europa, e tutti provenivano da quello stesso villaggio! Questa ormai è storia. Comunque quest'anno (2004) la migliore sciatrice nelle prove alpine femminili è di nuovo svedese e, per di più, proviene da Tärnaby! – magari sarà un buon segno anche per i matematici.

Questo aneddoto ci insegna che molti di noi possono ottenere sorprendenti risultati se concentriamo le nostre energie su uno stesso obiettivo per un periodo molto lungo e se crediamo in noi stessi. I giovani di Tärnaby conoscevano Ingemar Stenmark, lo consideravano uno di loro e capirono che se lui aveva raggiunto una meta così ambita, avrebbero potuto farcela anche loro. Per che cosa? Nello sport, per fama e per soldi. In matematica, per molto molto meno. Secondo la mia esperienza personale, sono portato ad affermare che quello che realmente ci spinge è la sfida in se stessa e il desiderio di mettersi in gioco. Da un punto di vista un po' più solenne, è certamente gratificante aggiungere un pezzettino al meraviglioso puzzle della scienza. Ecco un pezzo mancante nel puzzle della matematica. Per sommare 2 numeri, di  $N$  cifre, un programma del computer usa  $N$  passaggi costanti, quando  $N$  è un numero grande. Questo non vale per la moltiplicazione? Il metodo che noi normalmente utilizziamo richiede l'ordine di  $N^2$  passaggi, ma esistono sistemi molto più efficienti. Provateci! Probabilmente non esiste un metodo con  $N$  passaggi costanti. Nessuno lo sa. Non sarebbe magnifico dimostrarlo?

## AVVENTURA CON GLI ATOMI FREDDI

*Claude Cohen-Tannoudji*  
Ecole Normale Supérieure, France



© Cortesia di Claude Cohen-Tannoudji

Sono nato nel 1933 a Constantine, in Algeria, che allora faceva parte della Francia. Ho frequentato le scuole superiori ad Algeri. I miei genitori si interessavano molto all'istruzione di noi figli e seguivano attentamente cosa facevo a scuola. Penso sia molto importante che un bambino senta l'interesse dei propri genitori nei confronti della sua formazione. Inoltre ebbi degli insegnanti eccezionali, ottimi pedagoghi che sapevano risvegliare l'interesse dei loro studenti.

Mi trasferii a Parigi nel 1953 per studiare all'Ecole Normale Supérieure, una delle migliori scuole francesi, dove si accede dopo un esame molto selettivo e dove per quattro anni frequentai dei corsi affascinanti tenuti dai migliori matematici e fisici francesi. Inizialmente ero molto attratto dalla matematica, ma quando, sempre a scuola, incontrai un professore di fisica, Alfred Kastler, un uomo dalla personalità molto affascinante

che teneva stimolanti conferenze, decisi di passare a fisica. Sono convinto che una personalità autorevole può svolgere un ruolo determinante nel risveglio di una vocazione scientifica.

Entrai nel gruppo di ricerca di Alfred Kastler per la tesi di laurea e poi, dopo il servizio militare, per quella di dottorato. Alfred Kastler era il mio relatore assieme ad uno dei suoi migliori studenti, Jean Brossel, anch'egli un eminente fisico. Serbo dei meravigliosi ricordi di questo periodo della mia vita: il nostro gruppo di ricerca era piuttosto piccolo e gli strumenti abbastanza poveri, ma l'entusiasmo nel lavoro era eccezionale. Discutevamo per ore su come interpretare i risultati. In questo periodo imparai che un ricercatore rimane studente a vita, in quanto ha continuamente qualcosa di nuovo da imparare e nuovi strumenti di cui impadronirsi. Ricordo che rimasi molto impressionato quando vidi che Alfred Kastler seguiva le stesse lezioni dei suoi studenti, per migliorare la sua conoscenza della teoria della matrice o della meccanica quantistica.

Dopo il dottorato, ottenni un posto all'Università di Parigi. Insegnare era un divertimento. Penso che la ricerca e l'insegnamento siano attività complementari che non possono essere separate: se si insegna ma non si fa ricerca, si diventa rapidamente obsoleti perché non si rimane al passo col progresso della scienza. D'altra parte, l'insegnamento è molto importante ai fini del miglioramento della propria ricerca, perché quando si cerca di spiegare concetti scientifici nel modo più chiaro possibile, si sollevano spesso idee interessanti ed intuizioni fisiche che possono dar vita a nuovi orientamenti per la ricerca.

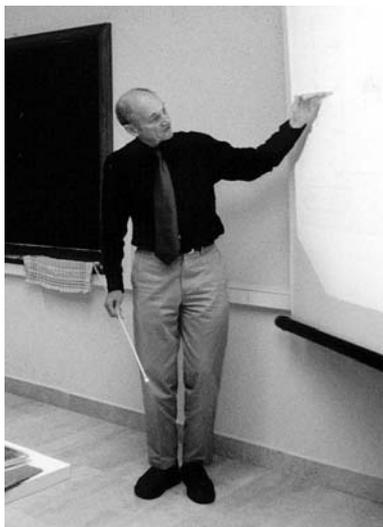
In quel periodo, cominciai anche un mio gruppo di ricerca: fu per me una grande esperienza poter lavorare con giovani e brillanti studenti, introdurli ai più recenti sviluppi della fisica e iniziare con loro nuove ricerche per scoprire nuovi meccanismi fisici. La nostra ricerca verte, in generale, sull'interazione tra luce e atomi. Osservare la luce emessa o assorbita dagli atomi ci dà utili informazioni sulla struttura di questi ultimi e sulle interazioni che determinano tale struttura. Si può anche usare la luce, in particolare quella laser, per esercitare forze sugli atomi, al fine di manipolarli. Durante l'ultimo decennio sono stati compiuti spettacolari progressi in questo campo. Nei nostri laboratori abbiamo sviluppato nuovi metodi per raffreddare gli atomi con raggi laser ad una temperatura molto bassa, circa 300 milioni di volte più bassa della temperatura ambiente. A questa temperatura ultrabassa gli atomi si muovono molto lentamente, a circa pochi millimetri al secondo. In questo modo, è possibile osservarli per un lungo periodo e misurarli con molta più precisione. Con questo metodo, sono stati recentemente costruiti i precisissimi orologi atomici, i più precisi che esistano, il cui margine di errore fra 100 milioni di anni sarà di meno di un secondo. Sono stati anche scoperti nuovi stati della materia in cui un macroscopico numero di atomi ultrafreddi si condensano tutti insieme in onde di materia, creando il condensato Bose-Einstein. Questi condensati hanno affascinanti proprietà che stiamo cercando di capire e potrebbero avere molte ed interessanti applicazioni come "laser atomici", analoghi ai normali laser ma con onde di materia invece che con onde ottiche.

La scienza è un'avventura fantastica. Ogni nuova scoperta cambia la visione del mondo in cui viviamo. È parte integrante della cultura umana, come la pittura, la musica o la poesia. Capire le leggi fondamentali che regolano l'enorme varietà dei fenomeni che osserviamo è il più grande risultato dell'umanità. I progressi scientifici possono agevolare la soluzione di molteplici problemi: nuove fonti di energia pulita, la tutela ambientale, la distribuzione equa del cibo, il miglioramento delle condizioni di salute... Tutti dovrebbero capire che sarebbe possibile risolvere questi problemi se si "facesse più scienza". In conclusione, penso che la scienza possa contribuire a migliorare gli standard morali, ad eliminare l'intolleranza e il fanatismo, attraverso lo sviluppo di una mente critica, del senso del dialogo e del rispetto reciproco. Per questa ragione il mio desiderio più sincero è vedere giovani studenti di tutto il mondo intraprendere con entusiasmo gli studi scientifici.

## OGNI MINUTO NASCONO POTENZIALI SCIENZIATI

*James W. Cronin*

Enrico Fermi Institute  
University of Chicago, USA



© Archivio fotografico ICTP

Si sentono molte storie di noti scienziati costretti a trasferirsi a causa di situazioni gravi, quali la corruzione dei sistemi politici o la stentatezza dei sistemi di istruzione nei paesi poveri o ancora l'esistenza di sistemi scolastici basati sul principio del "separato ma uguale" come negli Stati Uniti. Io credo che in ogni punto del mondo, ogni minuto, nascano potenziali scienziati. Eppure li perdiamo, perché mancano le opportunità, o perché sono deliberatamente scoraggiati; penso in particolare alle donne di molti paesi. Il Centro Internazionale di Fisica Teorica è un'istituzione che cerca di superare le enormi disparità di accesso alla scienza pura. Non dimenticherò mai la frase del precedente direttore dell'ICTP, Miguel Virasoro: "...l'opportunità di partecipare alla scienza pura è un diritto umano fondamentale!".

Grazie ad un eccellente insegnante della scuola superiore Highland Park, le cui lezioni erano note per essere particolarmente difficili, il mio interesse per la fisica crebbe ancora di più. Inconsciamente o no, quel professore intimoriva tutte le ragazze. Il prof. Marshall ci dimostrò che la fisica è una scienza sperimentale, e per il suo corso dovevamo lavorare molto in laboratorio.

A questo punto desidero fare una breve digressione. Credo che l'ICTP potrebbe pensare di ampliare il proprio spettro alla fisica sperimentale, in quanto al mondo ogni minuto nascono tanti potenziali scienziati sperimentali quanti scienziati teorici.

Farò due esempi sull'insegnamento del professor Marshall. Una volta dovevamo costruire un motore elettrico con pezzi presi dallo sfasciacarrozze o nei negozi di roba usata. Il risultato doveva essere un pezzo che ruotava quando si applicavano 6 volt. Furono presentati i congegni più svariati. Per il secondo progetto, dovevamo costruire un trasformatore che convertisse 120 v di corrente alternata 12, 6 e 3 volt, con un carico che richiedeva 10 watt. Per il nucleo del trasformatore e i cavi, ci rifornimmo dallo sfasciacarrozze. Quasi tutti i nuclei erano vecchi. Uno studente prese il nucleo del trasformatore di un altoparlante usato; riuscì ad ottenere il voltaggio corretto, ma al momento di effettuare il test di potenza, il trasformatore andò in fumo. Lo studente scoppiò a piangere. Era però un ottimo pianista e successivamente fu ammesso ad una delle migliori scuole di musica. Grazie a quelle lezioni di fisica, capii che avevo una gran passione per l'analisi dei dati, qualsiasi dati - la deviazione del periodo di un

pendolo da una costante quando l'ampiezza è troppo grande, i dettagli dell'avvicinamento all'equilibrio in un calorimetro. Alle superiori lessi ottimi libri di scienza per ragazzi: mi piacque particolarmente il libro di George Gamow *Uno, Due, Tre... Infinito*.

Al momento di iscrivermi all'università, la SMU, avevo deciso di studiare ingegneria. Tuttavia, mio padre mi consigliò saggiamente di puntare più sulla fisica e sulla matematica per la laurea breve e di iscrivermi solo in un secondo momento ad ingegneria, se ne fossi stato ancora interessato. Una volta conseguita la laurea breve, mi sembrò naturale continuare gli studi di fisica e fui ammesso all'Università di Chicago. A quel tempo, 1951, Chicago ospitava sicuramente il miglior dipartimento di fisica del mondo. Frequentavo i corsi di Enrico Fermi, Edward Teller, Murray Gell-Mann, Richard Garwin, Valentine Telegdi, Marvin Goldberger e Gregor Wentzel. L'atmosfera era tale che in tutti gli studenti nacque una passione per la fisica e in quel periodo immediatamente successivo alla Seconda Guerra Mondiale iniziò un'età d'oro per la fisica. La mia passione erano i dati e riuscii a capire che dagli esperimenti si potevano ottenere dati di notevole importanza. Imparai inoltre che la fisica è fondamentalmente una scienza sperimentale. A meno che non si fosse un Gell-Mann o un Feynman, era meglio occuparsi di esperimenti.

Poiché la fisica era un settore in crescita a quel tempo, numerosissime erano le opportunità di lavoro. Io fui assunto alla Princeton University, dove nel 1964, insieme ai colleghi Jim Christenson, Val Tich e Rene Turlay, feci una scoperta di fondamentale importanza: l'esistenza di una discrepanza fra il comportamento della materia e quello dell'antimateria. Non si trattava di una scoperta teorica ma sperimentale, realizzata con apparecchiature fatte in casa che sembravano sempre sul punto di rompersi. È sorprendente che un'accozzaglia di apparecchiature quali cavi, rilevatori e magneti alimentate da un magnifico acceleratore possano produrre un risultato così significativo ai fini della comprensione più profonda dello spazio e del tempo.

## COME SONO DIVENTATO UNO SCIENZIATO

*Paul J. Crutzen*

Max Planck Institute for Chemistry, Mainz, Germany  
Scripps Institute of Oceanography, University of California  
San Diego, USA



© Archivio Fotografico ICTP

Sono nato ad Amsterdam il 3 dicembre 1933, da Anna Gurk e Josef Crutzen. Avevo una sorella più piccola. I genitori di mia madre si trasferirono nella regione industriale della Ruhr in Germania dalla Prussia Orientale verso la fine del XIX secolo. Erano di origine tedesca e polacca. Nel 1929, all'età di 17 anni, mia madre si trasferì ad Amsterdam per lavorare come domestica. È lì che incontrò mio padre che veniva da Vaals, una piccola città nella parte sud orientale dell'Olanda, confinante col Belgio e la Germania, e molto vicina alla storica città tedesca di Aquisgrana. Aveva parenti in Olanda, Germania e Belgio. Così, da entrambi i genitori ho ereditato una visione cosmopolita del mondo.

Nel maggio 1940 l'Olanda fu invasa dall'esercito tedesco. Nel settembre dello stesso anno iniziai la scuola elementare che, per quasi tutta la durata dei sei anni, coincise con la Seconda Guerra Mondiale. La nostra classe dovette cambiare sede diverse volte dopo che l'armata tedesca aveva confiscato l'edificio principale della nostra scuola. Gli ultimi mesi di guerra, tra la fine del 1944 e il Giorno della Liberazione -5 maggio 1945- furono particolarmente difficili. Durante il freddo *hongerwinter* (inverno di carestia) del 1944-1945 mancavano cibo e combustibili per riscaldamento. Anche l'acqua per bere, cucinare e lavare era disponibile solo in quantità limitate per poche ore al giorno, causando gravi problemi igienici. Molti morirono di fame e malattie, compresi parecchi miei compagni di scuola.

Nel 1946, dopo aver superato l'esame, entrai alla "Hogere Burgeschool" (HBS), una scuola media della durata di cinque anni che preparava all'Università. In quegli anni la chimica non era sicuramente una delle mie materie preferite. Preferivo invece la matematica e la fisica, ma andavo bene anche nelle tre lingue straniere: inglese, francese e tedesco. Durante gli miei anni di scuola feci anche molto sport: calcio, ciclismo e la mia grande passione, pattinaggio su lunghe distanze in riva ai canali e ai laghi olandesi. Giocavo anche a scacchi. Da bambino leggevo soprattutto libri di astronomia, geografia e sulle spedizioni geografiche alla scoperta del mondo. Ero affascinato dal mondo delle montagne, di cui in Olanda non c'era traccia, naturalmente. Durante la guerra non potevamo viaggiare e così immaginavo che le

nuvole fossero montagne rivestite di neve. In casa avevamo un libro sul Parco Nazionale di Yellowstone negli Stati Uniti. Lo lessi molte volte ed ero affascinato dalle figure. Parecchi anni dopo la guerra, quando avevo 17 anni, vidi le montagne per la prima volta. Incontrai mia moglie Terttu, una ragazza finlandese, in montagna in Svizzera, quando avevo 21 anni. Visitai per la prima volta il Parco Nazionale di Yellowstone assieme alla mia famiglia nel 1975, quando avevo 42 anni.

Sfortunatamente, a causa di una forte febbre, i miei voti dell'esame finale all'HBS non furono abbastanza alti da garantirmi una borsa di studio universitaria. Non volendo pesare sui miei genitori per altri quattro anni (mio padre, un cameriere, era spesso disoccupato; mia madre lavorava nella cucina di un ospedale), scelsi di frequentare la Middelbare Technische School (MTS), Scuola Media Tecnica, successivamente chiamata Scuola Tecnica Superiore, per diventare ingegnere civile. Benché l'MTS durasse tre anni, il secondo anno era di pratica e guadagnavo un modesto salario che mi dette da vivere per circa due anni.

Dall'estate del 1954 fino al febbraio 1958, con un'interruzione di 21 mesi per il servizio militare obbligatorio, lavorai all'Ufficio per la Costruzione dei Ponti della città di Amsterdam. Dopo il matrimonio, mia moglie ed io ci trasferimmo in Svezia dove trovai un impiego nel campo edile. Tuttavia non ero felice. Desideravo ardentemente intraprendere la carriera accademica. Un giorno, all'inizio del 1959, lessi su un giornale un annuncio relativo ad un posto di programmatore presso il Dipartimento di Meteorologia dell'Università di Stoccolma. Sebbene non fossi assolutamente qualificato per quel posto, presentai la domanda ed ebbi la grande fortuna di essere scelto tra molti candidati. Il primo luglio 1959 ci trasferimmo a Stoccolma per abbracciare la mia seconda professione, quella di programmatore di computer. Il grande vantaggio di lavorare in un dipartimento universitario era che avevo l'opportunità di seguire alcune lezioni. Nel 1963 fui così pronto per ottenere il diploma di *filosofie kandidat* (corrispondente ad un Master), in materie quali matematica, statistica matematica e meteorologia.

Intorno al 1965 ebbi l'incarico di aiutare uno scienziato americano a sviluppare un modello numerico della distribuzione dell'ozono nella stratosfera, mesosfera e bassa termosfera. Questo progetto mi portò ad interessarmi profondamente della fotochimica dell'ozono atmosferico e iniziai così a studiarne la letteratura scientifica. Mi resi conto di quanto poco la scienza sapesse riguardo alla chimica della stratosfera nella seconda metà degli anni 1960, ponendo così le "condizioni iniziali" della mia carriera scientifica.

Scelsi l'ozono stratosferico, e successivamente la chimica dell'atmosfera e gli studi sul clima, come argomento della mia ricerca. Ero fortunato che ci fosse molto da scoprire. Nella mia ricerca mi interessai principalmente dell'impatto dell'attività antropogenica sull'atmosfera. Scoprii che l'inquinamento atmosferico non è solamente provocato dall'industria e dalla combustione dei combustibili fossili, ma anche dalla combustione delle biomasse nelle zone tropicali e subtropicali in via di sviluppo. Un resoconto della mia ricerca si trova nel mio discorso per il Premio Nobel<sup>10</sup>. Ho avuto carta bianca per quanto riguarda la scelta dell'argomento della mia ricerca e ricorderò sempre la generosità e la fiducia dei miei

<sup>10</sup> <http://www.nobel.se/chemistry/laureats/1995/crutzen-lecture.pdf>

supervisor, il professor Georg Witt, esperto di aeronomia dell'alta atmosfera, e il direttore dell'Istituto di Meteorologia, il professor Bert Bolin.

Copyright © ICTP

## LA FORMAZIONE DI UN ECONOMISTA ACCADEMICO

*Partha Dasgupta*

University of Cambridge, UK



© Cortesia di Enrico Fratnik

Non ricordo un momento in cui io non abbia desiderato ricoprire una posizione accademica. Mio padre era professore universitario di economia, diversi amici dei miei genitori avevano posizioni accademiche come molti degli ospiti di casa nostra. Mi piaceva conversare con loro e perciò davo per scontato che anch'io avrei intrapreso quella strada.

Ma la mia materia non sarebbe stata economia. Mio padre mi aveva spiegato la ragione per cui la fisica teorica è la disciplina più elevata. All'Università di Delhi alla fine degli anni Cinquanta, gli studenti che più ammiravo leggevano fisica. Così mi unii a loro e scelsi la facoltà di matematica all'Università di Cambridge, per poi intraprendere gli studi post laurea nel campo della fisica delle particelle. Tuttavia, durante il terzo anno a Cambridge cambiai idea per tre motivi: primo, pur avendo studiato per tanto tempo, non avevo ancora esplorato i confini della fisica; secondo, l'ultimo corso che avevo seguito, sulle matrici di *scattering*, mi era sembrato una litania di calcoli che niente aveva a che fare con la materia che mi piaceva; e terzo, mentre divampava la guerra in Vietnam, mi trovai a passare molto tempo libero con studenti di scienze

sociali, cercando di cogliere le origini economiche della guerra.

Allora a Cambridge era possibile iscriversi al corso di dottorato in economia pur con una preparazione superficiale in materia. Pur essendo riuscito ad ottenere il dottorato nel giro di due anni da quando avevo iniziato la tesi, le mie lacune nel campo erano evidenti. Quando iniziai ad insegnare alla London School of Economics, mi sentivo a disagio a conversare con i colleghi e diventai talmente diffidente che iniziai ad evitare quei temi che gli altri consideravano "scottanti", per usare un termine caro ai fisici teorici. Ciò mi diede la possibilità di lavorare ad un ritmo meno forsennato, approfondendo problemi che i miei migliori colleghi non degnavano di considerazione e che, per questo motivo, non erano neanche mai stati sollevati. Solo recentemente ho acquisito abbastanza fiducia in me stesso per rendermi conto che erano i miei colleghi a non aver capito quanto di prezioso fosse nascosto nei problemi che avevo scelto di studiare.

Nei primi anni Settanta, la matematica pura esercitò molta influenza sugli economisti teorici. I migliori giovani teorici lavoravano su problemi già formulati, ma impegnativi da risolvere, proponendo spesso la generalizzazione di risultati teorici già esistenti. Nel campo

delle scienze sociali vi è un bisogno enorme di risultati a carattere *generale* (ad esempio, identificare le condizioni sufficienti affinché un sistema di mercato sostenga una ripartizione efficace delle risorse), non solo perché il mondo sociale è molto difficile da interpretare, ma anche perché cambia con il passare del tempo. Visto che il mondo reale è spesso difficile da osservare, la teoria deve coprire *possibili* mondi sociali. Tuttavia, la fisica mi ha insegnato che anche se si generalizza ampiamente una scoperta in una direzione, non si ottiene molto se il modello sottostante rimane molto speciale nelle sue altre direzioni. Mi interessava molto una pratica già usata dagli economisti che implicava la costruzione di modelli speciali *forti*, che fossero chiari e trasparenti rispetto alle direzioni a cui si dovevano applicare se si trovavano a coprire un terreno più generale. Questa impostazione, che ha guidato sostanzialmente tutto il mio lavoro, e i fattori di probabilità che sono endemici nella ricerca, mi hanno portato più volte ad identificare connessioni formali tra fenomeni sociali in apparenza sconnessi.

Mentre studiavo per il dottorato, iniziai ad interessarmi a problemi piuttosto insoliti<sup>11</sup>. Nella mia tesi avevo sviluppato un linguaggio per studiare la popolazione *ideale* e le politiche di investimento di una nazione. Nel modello che elaborai a tale proposito, la capacità di carico di una economia non era un dato acquisito. Poiché si può investire in beni capitali per espandere la capacità produttiva, nel mio modello la capacità di carico deve essere dedotta da considerazioni sia etiche che ecologiche. Dimostrai però che se si usava l'Utilitarismo Classico come base etica nelle scelte tra popolazione e politiche di investimento, la dimensione ottimale della popolazione non sarebbe stata molto inferiore alla capacità di carico (ottimale) dell'economia. Più precisamente, trovai che il rapporto tra capacità di carico ottimale e popolazione ottimale era minore o uguale a  $e$  ( $\approx 2.71$ )<sup>12</sup>. Della scoperta mi piacque non solo il fatto che fosse (almeno per me!) del tutto inaspettata – e che smentisse l'Utilitarismo Classico come dottrina etica – ma anche che fosse basata su un modello economico in cui la Natura occupava un posto di rilievo.

Tuttavia, nei primi anni Settanta la parola *ecologia* non era ancora diffusa tra gli studiosi di scienze sociali. Non era neanche facile avere accesso all'argomento per chi, come me, insegnava in un istituto di scienze sociali. Nonostante ciò, devo essere stato attratto istintivamente da quella che ora è definita *economia ecologica*, perché la mia ricerca principale in quel periodo (condotta assieme a Geoffrey M. Heal, ora alla Columbia University) puntava a sviluppare l'economia delle risorse naturali esauribili (come petrolio o gas naturale) in modo esaustivo. C'era poca ecologia nel nostro lavoro, ma in un trattato che pubblicammo sull'argomento<sup>13</sup>, elaborai un modello teorico per dimostrare che ci può essere un problema di “beni comuni” anche se l'accesso ad una risorsa di proprietà comune è limitato. Dimostrai anche che una comunità può in linea di principio aggirare una “tragedia” dei beni comuni senza creare diritti di proprietà privata sulle risorse. Allora non lo sapevo, ma

<sup>11</sup> Questo interesse è perdurato. Nel corso degli anni ho studiato l'economia di quegli obiettivi ed attività umane miranti a produrre “beni” immateriali come conoscenza, libertà, fiducia, salute, prole, e varie categorie di ecosistemi etichettati come “ambiente naturale”. A seguire, racconto solo quella parte della mia ricerca che mette in relazione la povertà rurale nelle regioni più povere del pianeta, le loro risorse ambientali locali e il comportamento riproduttivo.

<sup>12</sup> Il capitolo venne pubblicato col titolo di “On the Concept of Optimum Population”, *Review of Economic Studies*, 1969, 36(2): 296-318.

<sup>13</sup> P. Dasgupta e G. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources* (Cambridge, UK: Cambridge University Press).

il modello gettò le basi per la comprensione di un importante aspetto della vita rurale nelle regioni più povere del mondo<sup>14</sup>. Dopo la pubblicazione del libro, una motivazione ricorrente alla base del mio lavoro è stata lo svelare i collegamenti tra i percorsi socio-economici che coinvolgono la vita della povera gente rurale nei paesi più poveri e i processi naturali fondamentali che legano lo stato nutrizionale alla produttività umana e quelli che modellano l'evoluzione di ecosistemi locali.<sup>15</sup>

Ma dovetti affrontare un problema sociale, qualcosa che non avevo previsto e che, fino a poco tempo fa, mi impedì di dedicarmi interamente al pensiero economico. Il problema era che *gli economisti dello sviluppo non prendevano in seria considerazione le basi economiche dell'ambiente naturale*<sup>16</sup>. Perché? Credo che in larga parte fosse dovuto al fatto che gli ambientalisti e gli economisti negli Stati Uniti e in Europa ritenevano che l'economia ambientale fosse sinonimo di problemi di inquinamento industriale, un'opinione che portò ad uno scontro tra necessità ambientali e di sviluppo. Si pensava che una nazione potesse permettersi di includere il rispetto della Natura nei suoi calcoli economici solo dopo essere diventata ricca (in termini di PNL pro capite), idea sottoscritta implicitamente dall'annuale *Rapporto Mondiale sullo Sviluppo* della Banca Mondiale nel 1992.

Per me invece, sostanze inquinanti e risorse erano puramente due facce della stessa medaglia. Le risorse naturali per me non erano solo petrolio, gas, atmosfera, e oceani come luogo di scarico delle sostanze inquinanti, ma anche stagni e rivoli, terreni a maggese e aie, pascoli e foreste locali, riserve di pesca e paludi; a mio modo di vedere, tutti questi stavano alla base della vita economica delle popolazioni più povere della terra<sup>17</sup>. Durante gli anni '80 e '90 cercai di comprendere le cause della persistente miseria tra i nuclei familiari dei paesi poveri. Insieme a Debraj Ray (ora alla New York University) utilizzai le scoperte dei nutrizionisti sulla relazione (non-lineare) tra stato nutrizionale e abilità al lavoro, per sviluppare la teoria delle *trappole di povertà* familiari, l'idea alla base della quale era piuttosto elementare: chi è denutrito non è in grado di guadagnare abbastanza per migliorare il proprio stato nutrizionale. La domanda primaria è: perché una persona deve ridursi in uno stato di denutrizione? Il trucco perciò consisteva nell'incorporare nell'analisi sia lo stato nutrizionale che la produttività lavorativa. Dimostrammo che in un'economia di mercato povera, la proprietà di capitale fisico (la terra) ha un'importanza cruciale: chi è privo di beni ha una maggiore probabilità di rimanere coinvolto in una trappola di povertà. La nostra teoria identificava un meccanismo in base al quale ampie fasce di popolazione possono cadere in una trappola di povertà anche quando il prodotto nazionale lordo (PNL) pro capite è in crescita. In un successivo programma di ricerca, estesi questa teoria alla possibilità che la

<sup>14</sup> Negli ultimi quindici anni, la letteratura empirica sull'uso di risorse di proprietà comune nei paesi poveri è proliferata.

<sup>15</sup> Nel 1980, per puro caso, scoprii (e lessi!) il trattato pionieristico di ecologia moderna di P. Ehrlich, A. Ehrlich e J. Holdren *Ecoscience: Population, Resources and the Environment* (San Francisco: W.H. Freeman, 1977). Dal 1991 ho appreso molto in materia di ecologia dai migliori ecologisti mondiali, in occasione degli incontri organizzati dal Beijer International Institute of Ecological Economics di Stoccolma.

<sup>16</sup> A conferma di ciò, basti sfogliare i libri e gli articoli sull'economia dei paesi poveri e sullo sviluppo economico pubblicati prima della metà degli anni Novanta.

<sup>17</sup> Ho sviluppato questa linea di pensiero in un libro, *The Control of Resources* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1982). Il libro fu un fiasco: è stato citato solo in rare occasioni dagli studiosi di economia dello sviluppo, di economia ambientale e delle risorse.

povertà familiare fosse legata all'alta fertilità ed al degrado delle risorse naturali nei paesi poveri. Nei modelli da me costruiti, nessuna delle tre variabili localizzate nello spazio (*popolazione, povertà e risorse naturali*) è causa primaria alle altre due, piuttosto, ogni variabile influenza le altre due e ne è, a sua volta, influenzata. La causa scatenante che spinge i nuclei familiari in una trappola di povertà può essere una carenza istituzionale, sorta, ad esempio, dallo sfascio delle norme di comportamento sociale che regolano la gestione delle risorse locali comuni a cui accedono persone quasi nullatenenti. Diversi studi recenti di microeconomia, in cui sono presi in analisi dati relativi alla vita rurale dal Nepal all'Africa Subsahariana, confermano l'esattezza di questa teoria<sup>18</sup>.

La ricerca degli elementi che contribuiscono al benessere dell'uomo è sempre stata alla base del mio lavoro. In un studio<sup>19</sup> in proposito, dimostrai statisticamente che le libertà politiche e civili hanno avuto effetti benefici sullo sviluppo economico nei paesi più poveri e sottolineai come tali libertà non fossero certamente dei beni di lusso. Lavorando insieme a Karl-Göran Mäler (Direttore del Beijer International Institute of Ecological Economics di Stoccolma), ho recentemente dimostrato che si può usare un indice cumulativo di *ricchezza* per stabilire se, nell'attuazione di un programma economico, si garantisce al tempo stesso il benessere della società. L'indice mette in pratica il concetto di *sviluppo sostenibile* e gli elementi presi in considerazione non sono solo i beni prodotti, ma anche il capitale umano e quello naturale. La teoria è sviluppata in forma completa in un libro<sup>20</sup>, dove ho usato i dati della Banca Mondiale per mostrare che il cittadino medio dei paesi dell'Asia Meridionale e dell'Africa Subsahariana è diventato più povero negli ultimi tre decenni. I risultati indicano che nei paesi dell'Asia Meridionale, dove pure è aumentato il PNL pro capite (l'Indice di Sviluppo Umano delle Nazioni Unite ha anche riportato questo sviluppo), la crescita e quei miglioramenti sono andati di pari passo con la diminuzione dei capitali al punto che il cittadino medio è più povero. Queste politiche di sviluppo non sono state sostenibili.

Nel rileggere alcuni vecchi lavori per preparare questo mio contributo, ho notato di aver raramente pubblicato un articolo che centrasse in pieno l'obiettivo che alla fine ho raggiunto. Questo perché raramente sapevo davvero cosa stessi cercando. Forse lo sapevo inconsciamente, ma non ne sono sicuro. Nel mio caso, ogni scoperta è stata il frutto di un processo di *crescita*, non una folgorante rivelazione. Di solito mi ci sono volute parecchie pubblicazioni persino per capire il fenomeno su cui stavo lavorando, figurarsi poi per scoprire le origini del fenomeno. Non so se altri scienziati hanno vissuto un'esperienza simile, ma non penso. Credo infatti che i processi che ci portano a comprendere il mondo che ci circonda siano unici per ognuno di noi.

<sup>18</sup> Ho riassunto questo studio nella pubblicazione *An Inquiry into Well-Being and Destitution* (Oxford: Clarendon Press, 1993). La teoria è brevemente descritta nell'articolo "Population, Poverty, and the Local Environment", *Scientific American*, 1995, 272(2), Febbraio, 40-45. Il mio studio sui legami tra sottanutrizione, infezioni e scarsa abilità al lavoro è stato possibile grazie ad una lunga corrispondenza all'inizio degli anni '90 con il prof. John Waterlow che, pazientemente, mi ha reso edotto sull'argomento.

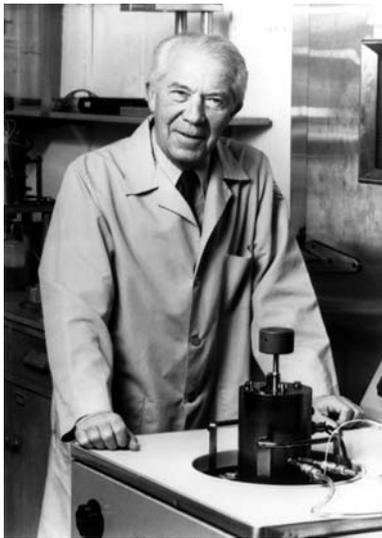
<sup>19</sup> "Well-Being and the Extent of its Realization in Poor Countries", *Economic Journal*, 1990, 100(Supplemento):1-38.

<sup>20</sup> *Human Well-Being and the Natural Environment* (Oxford: Oxford University Press, 2001; edizione rivista e aggiornata, 2004).

## ESSERE UNO SCIENZIATO

*Christian de Duve*

Christian de Duve Institute of Cellular Pathology  
Brussels, Belgium



© Cortesia della Rockefeller University,  
New York

Gli scienziati sono spesso descritti come persone che conoscono molte cose. Questo non è del tutto sbagliato. Per essere un buono scienziato, è necessario studiare, ad esempio, la matematica, o la fisica, o la chimica, o la biologia e spesso anche conoscere più di una di queste materie. Inoltre, è necessario conoscere il contributo degli altri scienziati nella disciplina scelta. Ma questo non è sufficiente. Una persona che “conosce tutto” non è uno scienziato, così come chi colleziona quadri non è un artista. Ciò che conta davvero è promuovere il sapere, o meglio, il capire. Il vero scopo della scienza è capire il mondo.

Non tutti, ad ogni modo, possono essere Newton, Darwin, o Einstein. Molti di noi non affrontano problematiche universali e si devono accontentare di aggiungere un piccolo mattone all’edificio della scienza. La ricerca scientifica si occupa, quotidianamente, soprattutto di piccoli problemi. Ci si trova davanti a fatti interessanti o ad osservazioni che solleticano la curiosità; pensando a questi fatti, si lascia correre l’immaginazione, usando tutte le indicazioni

disponibili, ogni elemento di conoscenza che si possiede, cercando di arrivare a delle spiegazioni plausibili. Questa è la vera parte creativa dall’attività scientifica, ciò che ha in comune con l’arte. Ma questo è solo il primo passo. Dopo arriva il difficile lavoro di confrontare le ipotesi con i fatti. Sono compatibili con le osservazioni? E, soprattutto nelle scienze sperimentali, come si può testarne la validità? Cercando non di dimostrarne la correttezza, ma cercando di dimostrarne l’inesattezza e fallendo in questo tentativo.

Questo aspetto della scienza è quello che la rende divertente, come ogni altro gioco in cui si devono risolvere problemi: cruciverba, scacchi, o indovinelli. La scienza ha lo stesso fascino intellettuale, ma ha anche il vantaggio di rivelare qualcosa riguardo al mondo che può divenire chiaro ai nostri occhi solo dopo che è già avvenuto.

Un'altra caratteristica della ricerca scientifica è che i risultati sono imprevedibili. La scienza esplora l’ignoto e quindi non può, per definizione, prevedere quello che sarà scoperto, ancora meno rivelare se la scoperta potrà essere utile o vantaggiosa. Questo aspetto è spesso il metro di misura dei politici e degli amministratori responsabili della distribuzione dei fondi per la ricerca. Poiché è coinvolto il denaro, essi ragionano in termini di redditività e utilità.

Questo non è solo sbagliato dal punto di vista logico, ma va anche contro uno degli obiettivi della scienza, cioè contribuire alla cultura umana.

Iniziai a capire tutto questo quando, da giovane studente di medicina, nell'autunno del 1935, entrai a far parte del laboratorio di ricerca del mio professore di fisiologia. Avevo tempo a disposizione e l'insieme di abilità manuali ed elasticità mentale richieste mi affascinavano. È solo attraverso la pratica, grazie all'atmosfera stimolante del laboratorio e agli esempi illuminanti dei miei professori che lentamente mi resi conto di essermi addentrato in una delle più creative ed eccitanti imprese umane.

Al contrario di molti miei colleghi scienziati, non fui inizialmente attratto da un campo o da un problema in particolare. Questo si rivelò essere utile, poiché mi lasciò libero di scegliere, passo dopo passo e mano a mano che scoprivo qualcosa, in che direzione continuare la mia ricerca, senza nessuna idea preconcepita. Più o meno per caso all'inizio mi concentrai sulla ricerca dell'insulina e trascorsi circa dodici anni, complicati dalla guerra e dall'invasione del Belgio, a cercare di conoscere bene l'argomento e ad acquisire la formazione necessaria per affrontarlo in maniera proficua. Per raggiungere questo obiettivo, dopo aver terminato gli studi di medicina, iniziai a studiare chimica e trascorsi due anni in Svezia e negli Stati Uniti per specializzarmi in biochimica.

In seguito, quando finalmente incominciai a fare quegli esperimenti che speravo mi avrebbero portato a spiegare il meccanismo di azione dell'insulina, mi capitò di osservare per puro caso un enzima nascosto che stimolò la mia curiosità e mi condusse in una direzione completamente diversa. Non ho mai scoperto come funziona l'insulina ma, invece, diventai un biologo cellulare e scoprii i lisosomi e perossisomi, due importanti organelli cellulari. Ho sempre seguito questo pensiero: "Qualsiasi cosa tu abbia in mente, segui i fatti. Non scoprirai necessariamente ciò che cercavi, ma forse troverai qualcosa ancor più interessante."

La mia fortuna è stata che, mentre stavo lavorando al mio limitato ambito di ricerca, sono stati compiuti degli incredibili progressi nella nostra comprensione della vita, come mai nessuna generazione prima d'ora era riuscita a fare. Al termine del mio lavoro in laboratorio, ho avuto la fortuna di avere tanti anni a disposizione per riflettere su questi problemi. Grazie a questo dono, mi è stata concessa la visione di un "quadro più ampio", un'esperienza profondamente gratificante.

## UNA PASSEGGIATA A CASO NELLA FISICA

*Pierre-Gilles de Gennes*

Collège de France, Paris



© Archivio fotografico ICTP

C'era una volta, tanto tempo fa, un giovane appassionato di fisica. Ne aveva appreso i rudimenti da A. Kastler (ottica) e da P. Aigrain (stato solido). Poi incontrò un mago: R.P. Feynman. In realtà non lo conobbe mai personalmente, ma iniziò a leggere i suoi articoli sull'elio superfluido e sui vortici. Ecco un teorico che manipolava equazioni ma che vedeva molto al di là di esse! Il giovane cambiò completamente dopo questo incontro.

In seguito, egli divenne un assistente teorico in un gruppo che stava studiando lo scattering di neutroni attraverso solidi o liquidi. Questo lo portò a lavorare sulle correlazioni nei liquidi e nei sistemi magnetici, nulla di molto profondo ma fu un ottimo modo per imparare.

Qualche tempo dopo, quando divenne un giovane professore, cominciò a lavorare in una giovane università (Orsay, vicino Parigi) e fece una cosa stupida: lui, un teorico, avviò un gruppo sperimentale (sui superconduttori)! Le circostanze erano difficili (c'erano streghe cattive nei paraggi) e gli esperimenti si svolgevano in una baracca. Ma c'erano anche le fate buone. Il laboratorio, con l'aiuto di alcuni colleghi, ottenne risultati interessanti su quello che è ora chiamato il campo di superficie  $H_{c3}$  e sui superconduttori senza gap.

Successivamente, la superconduttività divenne un'industria pesante, che richiedeva una forte competenza metallurgica ed il nostro protagonista abbandonò il campo, portando con sé la maggior parte dei suoi ex studenti. Tutti insieme finirono in un altro pascolo verde: *i cristalli liquidi*. Non fu un passaggio facile: le basi, gli strumenti, i concetti erano molto diversi. Riuscirono a convincere altre squadre (circa 7) ad unirsi a loro, ognuna con la propria specializzazione: chimica, cristallografia, ottica, risonanza nucleare, studio dei difetti e perfino un po' di teoria! Ne risultarono un'ottima collaborazione e delle novità interessanti.

A quel punto avvenne un'altra transizione, verso la *scienza dei polimeri* e fu avviata una cooperazione fra tre centri (il Collège de France a Parigi, il Centro per i Polimeri a Strasburgo ed il Centro per i Neutroni a Saclay). In seguito, dopo altre migrazioni, venne affrontata anche la *scienza delle interfacce* - adesione e "bagnamento" (wetting). Per tutto il tempo la collaborazione fra gli sperimentali ed i teorici fu molto stretta; in ogni gruppo il rapporto ottimale era di circa 1 teorico per ogni 5 sperimentali.

Adesso il nostro protagonista è diventato vecchio ma conserva ancora il sogno di trovare nuovi collaboratori. Poiché ora lavora (per la prima volta) in un ambiente medico, si interessa di biologia: a) adesione e movimento cellulare; b) la natura degli oggetti che formano la memoria nel cervello. Come in tutte le fiabe, egli ha avuto molti bambini (7) e nipoti. Ama sempre la fisica, a condizione che sia una miscela razionale di teoria e di esperimenti.

## DAR LUCE E SOSTEGNO ALLA FISICA

*Mildred S. Dresselhaus*

Massachusetts Institute of Technology, USA



© Cortesia di Donna Coveney (MIT)

Da bambina, il mio incontro con la matematica avvenne attraverso la musica. Grazie ad una borsa di studio, studiai violino alla Greenwich House Music School, dove ebbi modo di conoscere persone che avevano delle professioni molto interessanti, famiglie che vivevano in un mondo molto confortevole e bambini che andavano incontro ad un futuro emozionante; tutto molto diverso dalla società delle classi più modeste in cui ero cresciuta. Stimolata dall'ambiente della scuola di musica e dalla lettura di libri come *I cacciatori di microbi* di Paul De Kruif, diventai un'autodidatta in matematica e scienze ed entrai così all'Hunter College High School, l'unica scuola superiore pubblica che avesse dei programmi validi, accessibili alle ragazze di New York. Qui frequentai un severo corso di studi, propedeutico all'università.

Iniziai a studiare fisica perché fortemente incoraggiata dai miei professori dell'Hunter College di New York, dove inizialmente mi ero iscritta per diventare un'insegnante e dove conobbi Rosalyn Yalow. La prof. Yalow, di dieci anni più vecchia di me, fu il mio docente di fisica moderna del secondo anno; le sue lezioni ebbero un profondo impatto su di me e mi incoraggiarono a proseguire gli studi di fisica e a diventare una scienziata. Questi studi post-laurea cominciarono con una borsa di studio Fullbright per l'Università di Cambridge, continuarono poi ad Harvard e ancora a Chicago dove il programma di ricerca era portato avanti solo dagli studenti in maniera autonoma. Nel mio caso, in maniera ancora più autonoma perché il relatore della mia tesi di dottorato credeva che le donne non dovessero intraprendere la carriera di scienziate. A mio vantaggio, tuttavia, giocavano due fattori: primo, attraverso il mio lavoro di ricerca (conseguii il dottorato nel 1958), scoprii una dipendenza anomala di un campo magnetico dell'impedenza superficiale a microonde di un superconduttore che non si riusciva a spiegare con la teoria della superconduttività di Bardeen-Cooper-Schrieffer (BCS) pubblicata poco tempo prima (1957). Secondo, l'arrivo dello Sputnik (1957) incrementò in maniera sostanziale i fondi governativi per la ricerca nel campo delle scienze fisiche.

Nel 1958 mi sposai con Gene Dresselhaus e grazie ad una borsa di studio della durata di due anni per un post-doc alla National Scientific Foundation, mi trasferii all'Università di Cornell dove lavorava mio marito. Qui, continuai a studiare le microonde di superconduttività per due anni e, per guadagnare un po' di esperienza di insegnamento, davo lezioni sulla teoria elettromagnetica agli studenti del penultimo anno. Tuttavia, poiché, passati i due anni, non

avevo alcuna possibilità di lavoro a Cornell o in generale nella città di Ithaca (Stato di New York), mio marito ed io lasciammo Cornell e ci trasferimmo al Lincoln Laboratory del MIT che ci avrebbe assunti entrambi; era una situazione questa molto insolita all'epoca, in vista dell'applicazione delle regole contro il nepotismo che vietavano l'assunzione a tempo indeterminato all'interno di una stessa organizzazione, di due membri della stessa famiglia.

I 7 anni trascorsi al Lincoln Lab furono molti produttivi dal punto di vista scientifico; fu in questo periodo che cominciai a fare ricerca sul carbonio ed evidenziai la struttura elettronica della grafite usando la tecnica della magnetoriflessione. Ma, con l'arrivo di 4 figli, non potevo più rispettare i severi orari di lavoro che richiedevano l'arrivo in laboratorio alle 8 di mattina. In seguito alle grandi difficoltà di attenermi all'orario di lavoro, ricevetti un posto di professore a tempo determinato al MIT nel 1967, pensando che con i bambini un po' più grandi sarei potuta ritornare ai vecchi orari. Invece, questo incarico divenne fisso e ottenni la cattedra di ingegneria elettrica al MIT, dove ho trascorso gli ultimi 45 anni, coordinando il lavoro di circa 65 studenti di dottorato e 30 post-doc e collaborando con un numero ancor più grande di colleghi in tutto il mondo.

I miei contributi alla scienza del carbonio sono piuttosto noti e riguardano la grafite, i composti di intercalazione della grafite, le fibre di carbonio, gli ioni impiantati nella grafite, il carbonio liquido e più di recente fullereni e nanotubi di carbonio; ho anche fornito un sostanziale contributo a diverse branche della fisica della materia condensata. Ho svolto la maggior parte di questo lavoro in collaborazione con Gene Dresselhaus, post-doc, scienziati e studenti di dottorato. I miei primi studi sulla grafite stanno destando molta attenzione in seguito al crescente interesse verso i fullereni, i nanotubi di carbonio, la nanoscienza e la nanotecnologia. Il contributo recente più significativo nell'ambito dei nanotubi di carbonio è stata la scoperta della spettroscopia Raman di un nanotubo singolo applicata a nanotubi di carbonio isolati a parete singola che, a sua volta, fu il risultato di due scoperte precedenti. La prima, secondo cui il meccanismo di scattering della luce era risonante tra l'eccitazione del laser e gli stati elettronici dei nanotubi, selettivi per il diametro del nanotubo; la seconda, indicava che i nanotubi metallici e semiconduttori potevano essere distinti dalle diverse linee degli spettri Raman. Grazie a tali intuizioni, si giunse ad osservare gli spettri Raman di un singolo nanotubo isolato, osservazione possibile per la densità elettronica dei sistemi unidimensionali e per l'accoppiamento elettrone-fonone che avviene quando l'energia di eccitazione del laser corrisponde alla densità degli stati elettronici. L'importanza di questa scoperta sta nel fatto che, a livello del singolo nanotubo, gli spettri Raman possono essere usati unicamente per determinare la struttura geometrica del nanotubo, poiché le singularità nella densità elettronica degli stati, che sono in risonanza con l'eccitazione del laser, presentano energie uniche per ogni nanotubo, a seconda della sua struttura geometrica. Sono state fatte altre scoperte nell'ambito degli spettri Raman dei nanotubi singoli a parete unica e la possibilità di disporre di una caratterizzazione strutturale dei nanotubi singoli favorisce lo studio di altre proprietà fisiche dei nanotubi a livello di nanotubo singolo in funzione del loro diametro e chiralità.

Lungo il corso della mia carriera, mi sono dedicata alla ricerca, alla famiglia, alla fisica e alla comunità scientifica in senso ampio. Prestare servizio negli enti pubblici è stata anche una parte importante della mia vita professionale: sono stata presidente della American Physical Society, presidente e capo del consiglio di amministrazione dell'American Association for the

Advancement of Science (1997-98), tesoriere della National Academy of Sciences (1992-1996). Attualmente sono a capo del consiglio di amministrazione dell'American Institute of Physics (dal 2003). Sono stata anche a capo dell'Ufficio per la Scienza presso il Ministero per l'Energia durante l'amministrazione Clinton (2000). Ho sempre svolto un ruolo attivo a favore delle politiche femminili, al MIT e anche a livello nazionale ed internazionale.

Sono stata insignita di numerosi premi ed onorificenze, tra cui la National Medal of Science (1990), la Medaglia Nicholson della American Physical Society (2000), la Medaglia Kart T. Compton dell'American Institute of Physics (2001) e 19 dottorati onorari; sono membro della National Academy of Engineering (1974), della National Academy of Sciences (1985), della American Academy of Arts and Sciences (1974) e della American Philosophical Society (1995).

## GIOCARE COI NUMERI

*Freeman J. Dyson*

Institute for Advanced Study at Princeton, USA



© Cortesia di Randall Hagadorn

Scrivo questo contributo in omaggio al mio amico ed eroe Abdus Salam, fondatore e anima del Centro Internazionale di Fisica Teorica. Salam era un grande scienziato, un ancor più grande organizzatore e una grandissima voce della coscienza, spesa per il progresso della scienza nelle parti più povere del mondo. Non giocava con i numeri, lui: aveva cose ben più importanti da fare.

Da bambino amavo giocare con i numeri. Il mio interesse per la scienza non è stato ispirato dalla nobile ambizione di svelare i misteri della natura, scoprire nuove particelle o curare malattie; non ho neanche mai riflettuto a fondo sull'universo. La scienza era entusiasmante perché era zeppa di numeri da calcolare.

A quattordici anni vinsi un premio a scuola: un libro a scelta. Scelsi "La teoria dei numeri", di G. H. Hardy e E. M. Wright, che allora era appena uscito. È un libro meraviglioso, che pare scritto apposta per un ragazzo dalla mente brillante ed innamorato dei numeri. Lo lessi tutto, dalla prima all'ultima pagina. Il mio capitolo preferito era il diciannovesimo, intitolato "Partizioni". Una partizione di un numero  $n$  è un insieme di numeri positivi la cui somma è  $n$ . Per esempio, ci sono cinque partizioni di 4, e cioè 4, 3+1, 2+2, 2+1+1 e 1+1+1+1. Il diciannovesimo capitolo era pieno di bei teoremi sulla funzione di partizione  $p(n)$ , che conta le partizioni totali di  $n$ . La funzione comincia con  $p(1)=1$ ,  $p(2)=2$ ,  $p(3)=3$ ,  $p(4)=5$ ,  $p(5)=7$ ,  $p(6)=11$ . I teoremi più belli erano stati scoperti dal geniale matematico indiano Ramanujan, una ventina d'anni prima. I teoremi di Ramanujan affermano che  $p(5k+4)$  è divisibile per 5,  $p(7k+5)$  è divisibile per 7 e  $p(11k+6)$  è divisibile per 11, per qualsiasi valore di  $k$ . Ramanujan li scoprì osservando una tabella dei valori di  $p(n)$ , e li dimostrò con acute argomentazioni, che erano espone nel capitolo diciannove. Ramanujan morì nel 1920 all'età di 32 anni. Riconobbi in lui uno spirito simile al mio, innamorato dei numeri ancor più di me.

Dopo aver letto il diciannovesimo capitolo, mi soffermai più in particolare sulle partizioni di 4, 9 e 14, i primi tre numeri della successione  $5k+4$ . Quanto afferma Ramanujan – pensavo – è giusto, ossia in tutti i casi il numero di partizioni è divisibile per 5, ma sarebbe ancora meglio se possedessimo un metodo per dividere le partizioni in 5 classi uguali, in quanto ciò spiegherebbe perché il teorema di Ramanujan è vero. Bisognava quindi trovare un numero

$R(P)$  per ogni partizione  $P$ , con la proprietà di dividere le partizioni di  $5k+4$  in 5 classi uguali  $C(0)$ ,  $C(1)$ ,  $C(2)$ ,  $C(3)$ ,  $C(4)$ , dove  $C(r)$  è l'insieme delle partizioni per cui  $R(P)$  si presenta nella forma  $5k+r$  per  $r=0, 1, 2, 3, 4$ . Chiamai  $R(P)$  il rango  $R(P)$  della partizione  $P$ . Guardando alle partizioni di 5 e 12 cercai di trovare anche un metodo per dividerle in 7 classi uguali.

Quattro anni più tardi, mentre studiavo a Cambridge, mi dilettao ancora con le partizioni. Dopo aver fatto molti tentativi per il rango  $R(P)$ , finalmente riuscii a trovare la soluzione, che aveva tutta l'aria di essere semplice. Il rango di  $P$  è la differenza tra la parte più grande della partizione  $P$  e il numero delle parti. Così, le partizioni 4, 3+1, 2+2, 2+1+1 e 1+1+1+1 di 5 hanno rango 3, 1, 0, -1, -3, e ce n'è una in ognuna delle classi  $C(3)$ ,  $C(1)$ ,  $C(0)$ ,  $C(4)$ ,  $C(2)$ . Verificai che il rango di  $P$  funzionasse anche per le partizioni di 9 con 6 partizioni in ogni classe, e per le partizioni di 14 con 27 partizioni in ogni classe. Non poteva essere una coincidenza. Distribuendo casualmente le partizioni di 14 in cinque classi, c'era una probabilità su diecimila di non avere una suddivisione equa. Dopo aver esaminato le partizioni di 9 e 14, sapevo che la suddivisione in cinque classi con lo stesso numero di partizioni doveva funzionare per le partizioni di  $5k+4$  per ogni  $k$ . Poi considerai le partizioni di 5, che sono 5, 4+1, 3+2, 3+1+1, 2+2+1, 2+1+1+1, 1+1+1+1+1, con rango 4, 2, 1, 0, -1, -2, -4, una in ciascuna delle sette classi  $C(r)$ , con rango  $7k+r$ . Verificai che il rango di  $P$  funzionasse anche per le partizioni di 12, dividendole in sette insiemi uguali con 11 partizioni in ogni classe. Ero quindi sicuro che avrebbe funzionato anche per le partizioni di  $7k+5$  per ogni  $k$ . Ma il rango di  $P$  non funzionava per dividere partizioni di  $11k+6$  in undici classi uguali. Non funzionò nemmeno con le partizioni di 6, perché le partizioni 3+3 e 4+1+1 di 6 hanno entrambe rango 1, e non ci sono partizioni con rango 4.

Per uno studente del secondo anno, era un trionfo scoprire qualcosa che a Ramanujan era sfuggita. Mi sarebbe piaciuto molto potergliene parlare, ma era morto. Altre due cose mi rattristavano: non riuscivo a trovare una spiegazione del teorema di Ramanujan per  $11k+6$ , e nonostante i miei sforzi, non riuscivo a trovare una prova della divisione in parti uguali per le partizioni di  $5k+4$  e  $7k+5$ . Alla fine desistetti, e pubblicai il mio lavoro incompiuto sul periodico studentesco Eureka. Il mio articolo, intitolato "Some Guesses in the Theory of Partitions", conteneva esclusivamente congetture, e nessuna prova. È stata la mia prima pubblicazione. Avanzavo due congetture, che chiamai Congettura del Rango e Congettura del C-rango. La Congettura del Rango affermava che le partizioni di  $5k+4$  e  $7k+5$  possono essere divise in 5 o 7 classi uguali. La Congettura del C-rango, invece, proponeva l'esistenza di un'altra proprietà delle partizioni, il C-rango o crank, che avrebbe dovuto dividere le partizioni di  $11k+6$  in undici classi di congruenza. Diedi un sunto delle evidenze numeriche a sostegno di entrambe le congetture. Ma non avevo idea di come trovare un "candidato" accettabile per il C-rango.

Tutta questa storia ha un lieto fine: undici anni dopo la pubblicazione del mio articolo, Oliver Atkin e Peter Swinnerton-Dyer, due matematici miei amici, dimostrarono la Congettura del Rango, utilizzando alcuni concetti assai profondi introdotti da Ramanujan. Dopo altri trentaquattro anni, la Congettura del C-rango venne dimostrata da altri due miei amici, George Andrews e Frank Garvan. Andrews e Garvan dimostrarono che lo stesso C-rango divide equamente le partizioni per tutti e tre i casi,  $5k+4$ ,  $7k+5$  e  $11k+6$ . La loro definizione di C-rango è bizzarra: supponete che una partizione abbia  $s$  parti. Sia  $t$  la differenza tra la parte più grande e la seconda parte più grande, e sia  $d$  la  $(t+1)$ -esima prima parte più grande meno  $t$ ,

con la convenzione che  $(t + 1)$ -esima prima parte più grande è zero se  $t + 1 > s$ . Allora il C-rango è definito da  $d$  se  $t > 0$ , e  $s$  se  $t = 0$ . È facile verificare che questo C-rango funziona per le partizioni di 6. Le partizioni sono: 6, 5+1, 4+2, 4+1+1, 3+3, 3+2+1, 3+1+1+1, 2+2+2, 2+2+1+1, 2+1+1+1+1, 1+1+1+1+1+1, con c-ranghi -6, -4, -2, -3, 2, 1, -1, 3, 4, 0, 6, ciascuno appartenente ad una delle undici classi  $C(r)$ . Andrews e Garvan arrivarono a questa definizione seguendo il corso di un lungo lavoro di analisi, suggerito anch'esso da Ramanujan. Io non l'avrei mai trovata utilizzando il mio metodo di ricerca casuale. Ero già abbastanza fortunato di aver vissuto tanto a lungo da vedere le mie congetture dimostrate dopo quarantacinque anni.

Per tutta la vita sono stato uno scienziato che ha cercato di comprendere la natura tramite l'uso di una matematica elegante. Ho trovato problemi che potevo risolvere con un briciolo di elegante matematica in fisica, in ingegneria, in astronomia, in biologia. Non mi sono mai curato dell'importanza del problema; se la matematica era bella, io ero contento. Il mio lavoro sui teoremi delle partizioni di Ramanujan è stato il meno importante di tutti, ma è stato il più bello. È da lì che è cominciata la mia vita da scienziato, con un premio scolastico vinto a quattordici anni. Giocare con i numeri è stato un bel modo per iniziare.

#### **Bibliografia**

- G. H. Hardy and E. M. Wright, "An Introduction to the Theory of Numbers", Oxford University Press, 1938.  
F. J. Dyson, "Some Guesses in the Theory of Partitions", Eureka, 8, 10-15 (1944).  
A. O. L. Atkin and P. Swinnerton-Dyer, "Some Properties of Partitions", Proc. London Math. Soc. (3)4, 84-106 (1953).  
G. E. Andrews and F. G. Garvan, "Dyson's Crank of a Partition", Bull. Amer. Math. Soc. 18, 167-171 (1988).

---

 UNA VITA NELLA SCIENZA
 

---

*Sam Edwards*

Cavendish Laboratory  
Cambridge, UK



© Cortesia di Sam Edwards

I miei primi ricordi sono legati al tentativo di capire come funzionavano le cose e non c'è mai stato un momento in cui non abbia pensato di fare lo scienziato. I miei genitori mi regalarono kit scientifici per costruire modellini meccanici (non i Lego, ma veri pezzi di metallo da unire con dadi e bulloni) e modellini elettrici, prima ancora dell'avvento dell'elettronica e anche un piccolo laboratorio di chimica. A causa della guerra non ricevetti più queste cose ma al tempo stesso mi trasferii in una eccellente scuola con una forte tradizione scientifica. Mi trovai più attratto dalla scienza piuttosto che dalla tecnologia, cioè dalle leggi base della fisica piuttosto che dalle applicazioni all'ingegneria, dai processi base della sintesi chimica piuttosto che dalla creazione di materiali e farmaci. Non è una questione di cosa è più importante, ma di cosa si è più portati a fare. Mi ricordo che mi fu insegnata prima la geometria euclidea; sapevo usarla, ma era sempre necessario fare supposizioni. Poi mi fu insegnata la geometria cartesiana: ogni volta che hai un'idea chiara di quello che vuoi fare, hai sempre la

meglio. Ecco perché io sono un cartesiano: basta esporre il problema in modo che rappresenti bene la natura e la risposta verrà da sé.

A diciassette anni cominciai a studiare fisica teorica all'Università. Gli studenti cambiano diversi posti durante la carriera accademica, acquistano in questo modo molta esperienza e, alla fine, cercano di infondere quella esperienza nei più giovani. Non racconterò dei miei spostamenti ma soltanto del mio lavoro scientifico. I giovani naturalmente sono attratti dai campi difficili ed alla moda e difatti io fui affascinato dall'elettrodinamica quantistica, campo in cui riuscii a dare un contributo. Ho imparato due lezioni in quel periodo. In primo luogo, la teoria è inutile senza una verifica sperimentale (e l'elettrodinamica quantistica può essere verificata con gli esperimenti); in secondo luogo, ognuno di noi possiede delle capacità che gli sono proprie e grazie alle quali riesce a fare alcune determinate cose meglio di altri. Poiché la scienza vive degli sforzi delle persone attive in quei settori in cui riescono ad esprimersi al meglio, ognuno di noi dovrebbe andare a cercare le proprie aree di eccellenza. Così, quando diressi la mia attenzione verso gli studi di simmetria, che trovavo difficili, cominciai ad usare le competenze che avevo acquisito in un settore dove ancora non erano state applicate. Mi riferisco, nel caso specifico, alla teoria dello stato solido ed in particolare agli effetti delle

impurità e dei difetti nel “solido perfetto”. Questo mi insegnò una grande lezione: un ramo della scienza può fare scoperte che possono essere utili per risolvere problemi in un'altra area. Così il mio studio sulla struttura dell'elettrone mi permise di escogitare un nuovo modo per calcolare la conduttività. È ancora più sorprendente notare che la matematica di questi due problemi è esattamente quella che favorisce la comprensione del comportamento delle molecole molto lunghe, i polimeri, ed io fui in grado di usare la matematica dell'elettrone, l'equazione di Schrödinger, per capire il comportamento della gomma e dei liquidi con caratteristiche simili. La matematica della gomma ha risolto il problema del rame che forma una lega con l'oro e questa stessa matematica è stata usata per risolvere problemi che, seppur scientifici, sono molto distanti dalla fisica, come per esempio come progettare la disposizione dei pozzi di petrolio in un campo petrolifero.

Ho infine cambiato ancora ambito di studio quando mi sono reso conto che i vetri freddi ed i sistemi granulari (come la sabbia in una scatola, ad esempio) hanno delle caratteristiche in comune. La mia proposta sulla possibilità di dare una buona descrizione dei sistemi granulari fu vista con un certo scetticismo, ma negli ultimi dieci anni sono state realizzate molte simulazioni al computer che hanno mostrato che quelle idee erano fondate.

È chiaro che ci sono nuove aree da conquistare nel campo della fisica, nei meccanismi della vita, nel funzionamento del cervello. E ancora, il sistema economico mondiale può essere descritto come un sistema fisico? E l'ambiente? È anche chiaro che sono troppo vecchio per cercare di rispondere a questi interrogativi. Ma c'è così tanto da fare.

## COME CI SONO RIUSCITO?

*John B. Fenn*

Virginia Commonwealth University, USA



© Cortesia di Allen Jones,  
VCU Creative Services

“Come ci sei riuscito?” è una domanda posta di frequente a chi ha raggiunto quello che è considerato il “successo”. Questa domanda suppone che ci sia una spiegazione razionale che, una volta compresa, potrà essere usata da chiunque per raggiungere il successo. Molte se non tutte le specie animali hanno sviluppato procedure mirate ad insegnare ai propri piccoli i segreti della sopravvivenza che, da un certo punto di vista, è la *conditio sine qua non* del successo in quasi tutte le accezioni del termine. Infatti, sembra che tutte le specie animali insegnino ai propri piccoli i segreti della sopravvivenza che, in senso ampio, può essere considerata il successo per antonomasia. Inoltre, possiamo tranquillamente affermare che la natura stessa insegna alle varie specie come fare ad avere successo, garantendo la sopravvivenza dei più forti.

Insieme ad altri colleghi che hanno acconsentito a partecipare a questo progetto, mi è stato chiesto di spiegare come e perché ho ottenuto un certo successo in campo scientifico. La risposta più facile e sincera ma anche meno soddisfacente a questa domanda è: “Onestamente non lo so!”. Il principio di

indeterminazione di Werner Heisenberg, in cui la maggior parte degli scienziati crede, afferma l'impossibilità di prevedere nel dettaglio il futuro comportamento fisico di qualsiasi atomo o molecola. Il motivo è che lo stesso atto di indagare sul comportamento di una così piccola particella influisce inevitabilmente sul suo comportamento. Si potrebbe percepire un'analogia tra il principio di indeterminazione di Heisenberg e la teoria dell'inconscio di Sigmund Freud secondo cui il comportamento di ogni singolo individuo può essere governato da processi mentali di cui l'individuo stesso è totalmente inconsapevole!

Fortunatamente per la scienza, il comportamento macroscopico di un grande numero di individui può essere spesso previsto abbastanza accuratamente poiché il potere dei grandi numeri prevale sui comportamenti microscopici di ogni singola unità. Inoltre, la porzione di popolazione che occuperà uno stato particolare in un tempo futuro può essere prevista accuratamente anche se i singoli individui che occuperanno quello stato non possono essere identificati in anticipo. Nei paragrafi che seguono, cercherò di richiamare alcuni fattori che credo potranno fare luce su quello che mi è stato chiesto di spiegare. Esorto i lettori a non

considerare la mia esperienza come una ricetta da ripetere per emulare la mia buona sorte. Come si dice, “Ciò che a uno giova, ad un altro nuoce!”

Mio padre è cresciuto in una fattoria che gestiva mio nonno ma di cui non era proprietario. Nella mia esperienza, le persone che crescono nelle fattorie sono probabilmente più ingegnose degli altri perché sono sempre costrette a risolvere i problemi senza l'aiuto degli esperti. Alcuni miei amici, che si occupano di ricerche sperimentali in varie università, sono soliti accogliere di buon grado nei loro laboratori i dottorandi cresciuti nelle fattorie, ritenendo che siano più abili degli studenti cresciuti in città nell'affrontare i problemi pratici con esperimenti ed attrezzature! Ricordo che mio padre era estremamente ingegnoso e capace di riparare quasi tutti gli apparecchi meccanici o elettronici difettosi. Aveva una laurea breve in ingegneria elettronica, ma ho ragione di credere che la sua intraprendenza fosse più il frutto della sua esperienza di vita nella fattoria piuttosto che della sua istruzione. Da bambino e da adolescente, avevo piena fiducia nella sua abilità a riparare qualsiasi cosa. Era carpentiere, meccanico, elettricista e un bravo fotografo con un grande amore per la musica. Nella nostra cantina conservò per anni tutti i numeri del mensile “Popular Mechanics” e “Popular Science Monthly” che io lessi e rilessi molte volte. Anche mia madre era una persona intelligente e premurosa. Era la settima di dieci figli di un medico di campagna e credeva fermamente che una madre dovesse essere a casa quando i suoi figli (io e mio fratello Norman, di tre anni più giovane ma tanto più alto e più forte di me) tornavano a casa da scuola. Mia madre adorava i libri, era solita leggerci storie per ore ed era un membro molto attivo del consiglio dei genitori della nostra scuola. Molto più liberale di mio padre, era abbonata a periodici “rosa” come “The Nation” e “The Christian Century”. Diventai anch'io un amante della lettura come mia madre e dalla quinta elementare in poi frequentai assiduamente la biblioteca pubblica, leggendo in media tre o quattro libri a settimana fino alla fine del college. Uno dei primi libri che ricordo è “Stories of Everybody Wonders”, che i miei genitori mi leggevano prima di andare a letto e che descriveva un intricato e meraviglioso sistema, fondamentale per la nostra vita ma spesso dato per scontato: l'acqua corrente calda e fredda, l'elettricità, il gas, il carbone e i blocchi di ghiaccio per mantenere fresche bevande e cibarie prima dell'arrivo dei frigoriferi. Quando avevo circa sette o otto anni, i miei genitori investirono una somma considerevole, per le loro possibilità, in un'enciclopedia per ragazzi in venti volumi intitolata “The Book of Knowledge”. Fui totalmente rapito da quei libri che mi aiutarono molto anche durante il college.

Ho passato i primi dieci anni della mia vita ad Hackensack, nel New Jersey, circa dieci miglia a nord di New York City. Mio padre era direttore di una piccola compagnia che si occupava dell'impermeabilizzazione del cotone, situata nella vicina città di Lodi. La compagnia fu venduta nel 1925 e i nuovi proprietari licenziarono mio padre senza troppe cerimonie. Prossimo ai 50 anni, non riuscendo a trovare un altro buon lavoro, fu impiegato provvisoriamente come grafico presso la Compagnia Aerea Fokker nella vicina Teterboro. L'importanza di conoscere un mestiere tecnico in aggiunta ad una professione fu una lezione molto importante per un giovane come me alla vigilia della Grande Depressione e fu il motivo per cui qualche tempo dopo mi iscrissi alla scuola per saldatori ed ottenni il diploma di elettricista e saldatore. Nel 1928 ci trasferimmo a Berea, in Kentucky, sede di un'istituzione eccezionale: il “Berea College and Allied Schools”. Comprende un corpo studentesco di circa 1700 studenti, suddivisi in quattro scuole: a) la Foundation Junior High School, un corso

di studi che non prevedeva l'assegnazione di voti e grazie al quale gli studenti che avevano frequentato poco più di due anni di scuola dell'obbligo potevano ottenere, seguendo il proprio ritmo, il diploma di scuola media; b) l'Academy, che forniva un programma di studi pari agli ultimi due anni delle superiori; c) la Normal School, un corso di studi di due anni alla fine dei quali si otteneva il diploma magistrale; d) il College, che offriva corsi di studio per il conseguimento della laurea breve in materie umanistiche, scienze, economia domestica e agraria. Mio padre era insegnante di meccanica automobilistica ed elettricità presso il Dipartimento di Tecnica Industriale della Foundation School e dell'Academy.

Negli anni successivi entrambi i miei genitori dissero ripetutamente che perdere quel "buon lavoro" nel New Jersey era stata la più grande fortuna che potesse capitare alla nostra famiglia. A quel tempo io e mio fratello condividevamo quell'idea e ci consideravamo fortunati a vivere in quella prestigiosa comunità guidata da William J. Hutchins, il Presidente, padre di Robert Maynard Hutchins, "il ragazzo delle meraviglie" del sistema scolastico americano, che divenne Segretario<sup>21</sup> di Yale all'età di 24 anni, Preside della facoltà di Legge a 26 anni e Rettore dell'Università di Chicago a 31! "William J.", come suo padre era affettuosamente chiamato, era veramente un uomo dall'animo nobile. La "sua" Berea era un singolare palcoscenico, fonte di sempre nuove provocazioni e di profondi messaggi. Provate a pensare ad un eminente personaggio del mondo letterario, artistico, scientifico o religioso di quei giorni e ci sono grandi probabilità che abbia tenuto delle lezioni a Berea presso le United Chapels. A queste lezioni era richiesta la presenza di tutti gli studenti e molti di noi ci andavano proprio perché costretti. Ma alla riunione del cinquantesimo anniversario del college, io e i miei ex compagni di classe ancora in vita ci trovammo d'accordo sul fatto che queste lezioni, che eravamo soliti odiare, erano una parte fondamentale della nostra esperienza accademica. La caratteristica più notevole di Berea era che i corsi erano gratuiti! Erano ammessi solo i ragazzi di famiglie con possibilità economiche estremamente limitate. L'intero istituto, comprese alcune piccole attività (un orto, una latteria, un allevamento di pecore, una fabbrica di scope e una varietà di prodotti artigianali), era gestito dagli studenti sotto la supervisione di uno staff permanente. Tutti gli studenti avevano un lavoro. In media, un anno a Berea nel 1930, incluso vitto e alloggio, costava circa 300\$. Il carico di lavoro standard era di due ore al giorno, sufficiente per coprire circa la metà di quella cifra. Una buona parte del corpo studentesco era formato dai cosiddetti studenti di "mezza giornata", che guadagnavano abbastanza per pagare tutte le loro spese lavorando quattro ore invece di due.

Quando entrai al college (con la classe del 1938) decisi di conseguire la laurea specialistica in chimica, probabilmente per il mio affetto e rispetto per Julian Capps, professore di questa materia. Lui e la sua affascinante moglie Hilda, insieme ai nostri vicini di casa, George e Eleanor Bent, erano gli amici più cari dei miei genitori. Julian era un grande narratore che recitava Milton e Shakespeare senza stancarsi mai. Aveva un raro senso dell'umorismo e sapeva tantissime cose, dalla storia naturale alla fabbricazione del sapone. Se avessi avuto qualche dubbio, sicuramente si sarebbe dissipato durante le sue lezioni di chimica. Era un magnifico insegnante che rendeva viva la sua materia, in parte perché aveva lavorato nell'industria e poteva farci toccare con mano il mondo reale del commercio e della vita di

<sup>21</sup> Importante carica istituzionale dell'Università di Yale che consiste nella gestione degli affari interni ed esterni dell'ateneo (*N.d.T.*).

ogni giorno in maniera molto più convincente di qualsiasi libro di testo. Aspettavo con ansia le sue lezioni, un sentimento raro tra gli studenti del primo anno di chimica dei giorni nostri. Al giorno d'oggi, nei corsi base di chimica si illustrano solo concetti e gli studenti nutrono uno scarso interesse nei confronti della materia. Dopo aver frequentato le sessioni estive presso le Università di Iowa e di Purdue, mi trasferii per tre anni a Yale per conseguire il dottorato. Mi divertii moltissimo in quegli anni nel New Haven non grazie alla chimica, ma anzi a dispetto di essa. Infatti, le lezioni erano monotone e il mio progetto di ricerca noioso, ma i miei insegnanti erano persone gentili e premurose.

Finiti gli studi a Yale, lavorai per i dodici anni che seguirono nel settore industriale, durante i quali i piacevoli ricordi degli anni di Berea mi stimolarono a tornare alla vita accademica. Quando finalmente riuscii ad ottenere un posto a Princeton, Julian Capps fu il modello al quale mi ispirai. Julian è stato certamente solo uno dei tanti insegnanti che, assieme ai miei genitori, ha profondamente influenzato la mia vita. In seguito mi trasferii a Yale dove rimasi fino alla pensione. Dopodiché mi sono trasferito in Virginia.

In conclusione, io (e probabilmente anche la maggior parte di chi ha avuto la fortuna di assaggiare i frutti di quello che viene considerato successo), devo molto ai miei genitori e agli insegnanti dalla scuola materna in poi. Sono loro che hanno plasmato la materia grezza.

## SUPERNOVA E SUPERGRAVITÀ

*Daniel Z. Freedman*

Massachusetts Institute of Technology, USA



© Cortesia di Charles Suggs  
e David Tong

Sono lieto di partecipare al progetto dell'ICTP di presentare le motivazioni ed i successi chiave di scienziati praticanti attraverso la loro testimonianza diretta. Nel mio caso, la storia di come ho scelto la fisica teorica è poco emozionante, ma è giusto dire la verità. Sono cresciuto in una famiglia di classe media con problemi economici. Mia madre e mio padre erano molto affettuosi e mi incoraggiarono allo studio, nonostante che entrambi si fossero fermati alla scuola superiore. Guardando indietro al periodo delle superiori, avevo sicuramente un talento naturale per la scienza e per la matematica, ma non ricordo di essere stato particolarmente motivato. Al contrario, ricordo di essere stato piuttosto insoddisfatto del mio primo anno di fisica. Il libro di testo era *Modern Physics* di Dull, Metcalf e Brooks, che gli studenti reputavano alquanto noioso. Al termine della scuola superiore, ero

intenzionato a fare medicina.

Ebbi una vera illuminazione nei confronti della fisica durante il primo anno all'università di Wesleyan, un'università del Connecticut orientata verso le arti liberali, con soltanto 650 studenti a quel tempo. Wesleyan offrì un corso speciale di matematica e fisica ad un piccolo gruppo di studenti del primo anno e decisi di frequentarlo. Le lezioni di analisi matematica e di fisica erano separate, ma erano ben coordinate ed insegnate da docenti competenti. In maniera del tutto inaspettata, appresi che si poteva usare l'analisi matematica per descrivere i fenomeni fisici in modo preciso. Le leggi base della fisica potevano essere formulate matematicamente! In questo modo le leggi erano, ai miei occhi, semplici, eleganti e belle. A quel punto mi dedicai completamente alla fisica di base. Con alcuni alti e bassi, la mia formazione universitaria si concluse con un dottorato all'Università del Wisconsin nel 1964. Il titolo della mia tesi di dottorato fu "Regge Poles in Boson-Fermion Scattering". Oggi ha poco valore, ma fu comunque un buon esercizio.

Vorrei presentare ora due dei miei contributi scientifici, per i quali il lavoro iniziale fu svolto nella metà degli anni settanta. Il primo ha implicazioni pratiche nel campo delle violente esplosioni stellari conosciute come esplosioni di supernova. Il secondo fu la scoperta (con i miei collaboratori Peter van Nieuwenhuizen e Sergio Ferrara) della supergravità, in cui la relatività generale di Einstein è combinata con la supersimmetria. Ciò ha condotto ad una vasta struttura teorica che potrebbe trovare applicazione nella struttura dello spazio-tempo, e nella fisica delle particelle negli acceleratori attualmente in costruzione.

Il mio lavoro sulle supernove ebbe inizio quando la teoria di Weinberg-Salam-Glashow per le forze deboli ed elettromagnetiche fu confermata sperimentalmente. L'affascinante idea alla base di questa teoria era che, malgrado avessero proprietà molto differenti, la forza debole e quella elettrica potessero essere riunite in un'unica "struttura". Secondo questa teoria, processi deboli convenzionali, come il decadimento beta di un neutrone, avvenivano tramite lo scambio di una particella carica pesante, denominata bosone W. Questo non era sorprendente. Quello che non ci si aspettava era la previsione di un nuovo tipo di processo debole, lo *scattering* (diffusione) di neutrini da protoni o da neutroni, attraverso lo scambio di una particella neutra pesante, chiamata bosone Z. Tali processi di "corrente neutra" furono testati sperimentalmente nel 1972 e la conferma della teoria elettrodebole portò nuovo fermento alla fisica delle particelle.

Applicando semplici idee della teoria dello *scattering* che avevo imparato durante il dottorato, mi resi conto che ci sarebbe stato un effetto di coerenza nello *scattering* di neutrini da un nucleo, quello del ferro ad esempio, il quale consiste di 26 protoni e di 30 neutroni. Semplificando, l'effetto di coerenza implicava che lo *scattering* generato dal nucleo del ferro sarebbe stato 56 volte più forte di quello generato dai 26 protoni e dai 30 neutroni separatamente. Sapendo poco di astrofisica, ne discussi con dei miei colleghi che menzionarono le esplosioni di supernova. La fonte di energia stellare è la reazione nucleare che avviene nel centro della stella, in cui nuclei leggeri si fondono per formare nuclei più pesanti. Le reazioni di fusione liberano energia che si diffonde lentamente verso la superficie della stella e noi vediamo quella energia come luce emessa. Questo processo dura molti milioni di anni fino a che il centro della stella non è composto in larga parte di ferro. Poiché quello del ferro è il nucleo più stabile, un'ulteriore fusione in nuclei ancora più pesanti non è possibile. Le reazioni nucleari si arrestano nel nucleo della stella. La forza dominante allora diventa l'attrazione gravitazionale dei nuclei di ferro. Ciò causa il collasso improvviso del nucleo in una stella di neutroni o in un buco nero e l'energia emessa provoca l'esplosione degli strati esterni del nucleo e del resto della stella. Queste supernove sono oggetto di osservazione e sono alcuni dei più spettacolari eventi astronomici conosciuti.

La teoria suggeriva che molti neutrini fuoriescono dal nucleo che collassa, e che la loro energia si trasferisce agli strati esterni del nucleo facendoli esplodere. I fisici avevano provato a simulare questo processo su computer a larga scala, ma lo *scattering* noto dei neutrini non coerenti non trasferiva sufficiente energia perché era troppo debole. Io suggerii che il processo di *scattering* coerente generato dall'intero nucleo di ferro sarebbe stato molto più forte e avrebbe potuto risolvere questo problema. Il mio suggerimento era un po' ingenuo, perché il processo di esplosione è molto complicato. Non ci sono effetti dominanti, ma il processo di *scattering* coerente era un nuovo effetto che svolge realmente un ruolo importante.

Spostiamo l'orologio in avanti fino al 2004. È noto che circa 1/4 dell'energia del nostro universo appare sotto forma di materia scura fredda composta di particelle neutre la cui massa è alquanto maggiore di quella dei bosoni W e Z sopracitati. Non può trattarsi del bosone Z, poiché è instabile. La materia scura fredda deve essere fatta di nuove particelle stabili che interagiscono molto debolmente con la materia ordinaria. Scoprire le proprietà di queste particelle che formano tanta parte della massa dell'universo è un problema fondamentale. Infatti, molte di esse passano continuamente attraverso la terra, ma interagiscono troppo debolmente per essere rilevate. Tuttavia, ci sono esperimenti in fase di completamento ed altri

in fase di progettazione, per tentare di rilevare queste interazioni estremamente deboli e confermare così direttamente l'esistenza della materia scura fredda. I rilevatori usati consistono di elementi pesanti quale il germanio, in cui c'è un effetto di *scattering* coerente che è molto simile a quello discusso per i neutrini. L'idea è che le particelle della materia scura fredda penetrano nel rivelatore e, anche se con una bassa probabilità, alcune di loro interagiranno coerentemente con i nuclei di germanio. L'energia è trasferita a questi nuclei che passano nel rivelatore dove possono essere osservati.

La supergravità riguarda idee teoriche piuttosto astratte ed è di conseguenza più difficile da spiegare, ma ci proverò. All'inizio degli anni settanta furono proposte le prime teorie quantistiche con la supersimmetria. La supersimmetria mette insieme particelle con spin differente. L'elettrone che ha spin  $1/2$  dovrebbe avere un compagno supersimmetrico, denominato seletttrone, con spin  $0$ . Il fotone che ha spin  $1$  dovrebbe avere un partner, denominato fotino, con spin  $1/2$ . Le particelle accoppiate dalla supersimmetria sono chiamate superpartner. Si pensa che tutte le particelle elementari attualmente conosciute abbiano superpartner pesanti. La massa di alcuni di loro rientra nell'intervallo di energia accessibile a LHC, l'acceleratore in fase di costruzione vicino Ginevra, in Svizzera. La maggior parte dei superpartner pesanti sono instabili, ma uno di loro è stabile nella maggior parte delle versioni della supersimmetria. La particella stabile è il candidato principale a costituire la materia scura fredda discussa sopra.

Il principio di supersimmetria dovrebbe applicarsi anche alla gravità. Ciò vorrebbe dire, in termini generali, che il gravitone della teoria della relatività generale di Einstein, che ha spin  $2$ , possiede un compagno supersimmetrico con spin  $3/2$ , chiamato gravitino. Parecchi gruppi di ricerca nel 1974 provarono a formulare una teoria precisa, basandosi sulle idee geometriche di Einstein. Ascoltai le loro presentazioni in occasione di alcune conferenze e, sebbene molto accattivanti, il loro contenuto fisico era poco chiaro. All'inizio del 1975 il nostro gruppo cominciò ad occuparsi della supergravità con gli ingredienti fisici più semplici, vale a dire i campi che descrivevano il gravitone ed il gravitino. Dopo mesi di duro lavoro, scrivemmo le equazioni possibili per questi campi e controllammo se soddisfacevano i requisiti della supersimmetria. Alla fine trovammo un unico e ragionevolmente semplice insieme di equazioni. Fu un successo da brivido!

Successivamente, furono avanzate teorie più generali di supergravità, in cui il gravitone ed il gravitino si accoppiano a superpartner con spin  $0$ ,  $1/2$  ed  $1$ , come discusso sopra. Alcuni effetti specifici di supergravità di questa teoria possono essere verificati con l'acceleratore LHC. Un'applicazione importante della ricerca sulla supergravità è lo sviluppo di modelli specifici di questo tipo. Questo è importante ma c'è un aspetto più fondamentale, seppur speculativo, della supergravità attualmente in discussione.

Ci sono principalmente due idee. La prima è che ci possono essere "dimensioni nascoste" del nostro universo, oltre le 3 spaziali e quella temporale di cui siamo tutti consapevoli. Non possiamo vedere direttamente le dimensioni nascoste perché sono troppo piccole. Come semplice modello, si può pensare ad una sfera molto piccola situata in ogni punto dello spazio tridimensionale osservabile. Potremmo osservare indirettamente la loro presenza, se avessimo abbastanza energia da produrre certi tipi di onde sulle sfere. Queste eccitazioni d'onda sarebbero viste come particelle estremamente pesanti nello spazio fisico tridimensionale. I

fisici hanno studiato se i principi della supersimmetria e della supergravità potevano essere applicati a dimensioni più alte e si sono resi conto che ciò può essere fatto in maniera consistente fino ad un massimo di 11 dimensioni, di cui le 3 spaziali e quella temporale sono quelle a noi familiari e le altre 7 sono nascoste.

La seconda idea è che le unità più fondamentali della materia non sono puntiformi come le particelle, ma sono composte da piccolissime stringhe o persino membrane vibranti. Le teorie che le regolano richiedono 10 o 11 dimensioni dello spazio-tempo. Per il principio di indeterminazione, ci vorrebbe molta energia per verificare realmente una struttura composta di stringhe. Negli esperimenti a basse energie potremmo appena vedere le particelle-stringa come punti. È per questo motivo che, a basse energie, le teorie delle superstringhe e supermembrane sono descritte dalla supergravità a 10 e 11 dimensioni. Le proprietà di tali teorie sono un argomento importante della ricerca moderna e molti articoli teorici sono pubblicati ogni mese. È motivo di profonda soddisfazione per me pensare che le idee di base della supergravità che abbiamo sviluppato quasi 30 anni fa continuano ad essere ampiamente applicate oggi, e che potrebbero alla fine essere confermate dagli esperimenti!

## AVVICINANDO LA FISICA

*Giovanni Gallavotti*

Università “La Sapienza”, Roma, Italia



© Archivio Fotografico ICTP

Fino a tredici anni incontrai serie difficoltà nella Matematica. Il cambiamento avvenne quando all’inizio del Ginnasio iniziammo lo studio della Geometria. Dopo un inizio disastroso improvvisamente venne la sorpresa che la Geometria era in realtà molto facile, al punto di diventare uno degli argomenti favoriti. E con essa l’Algebra e un specie di perverso piacere nello svolgere a compimento enormi identità trigonometriche. Naturalmente fui poi attratto dalla Chimica e Fisica (iniziata tre anni dopo).

Il Latino, il Greco e la Filosofia mi piacevano: ma non ne compresi veramente l’essenza. Affascinava la possibilità di sviluppare argomenti logicamente coerenti, sillogismi, acquisenti significato grazie alla concatenazione delle parole senza necessariamente intendere il senso del tutto in cui erano inseriti. Così mi sfuggiva il messaggio dei pensieri dei grandi filosofi o scrittori che dovevo studiare, ma ero attratto dalla possibilità di parlare di qualche parte assai piccola del loro lavoro, collegando proposizioni con il solo vincolo che ciascuna implicasse la successiva. Il Latino e il Greco, anche, apparivano come una bella collezione di regole grammaticali e sintattiche la cui comprensione

era perfino verificabile attraverso traduzioni corrette.

Ammaliato, alla fine degli anni Cinquanta, dalle illusioni offerte dalla Fisica atomica e dall’imminente sviluppo delle esplorazioni spaziali cercavo di studiare questioni di Scienza al di là di quanto richiesto dalla scuola. Ma iniziai davvero a entrare in qualcosa di nuovo solo dopo il conseguimento della licenza liceale.

L’intera estate successiva fu spesa nella verifica che fossi in grado di capire il “Calcolo”, che non avevo appreso nel curriculum del “Liceo Classico”, ove le vette erano l’affascinante assioma di continuità e il (non da meno) volume della sfera, in Geometria, o la trigonometria piana e le equazioni di secondo grado, in Analisi.

Fu allora che apparve chiaro come l’educazione in logica e pensiero astratto, scollegato da qualsiasi applicazione pratica, acquisita attraverso le materie classiche, fosse precisamente quanto necessario per intendere la Scienza e entrai con entusiasmo nel corso di Laurea in Fisica. Iniziai a tormentare gli esercitatori (brillanti giovani fisici, in seguito divenuti illustri)

con domande davvero assurde, dato il contesto; pretendendo deduzioni strettamente logiche anche nei problemi più elementari di Fisica: con sorpresa le mie domande erano di solito degnate di un'alzata di spalle e dovetti ricorrere, per rispondermi, ad accalorate discussioni con uno o due compagni che non consideravano follia dedicarvi del tempo. La ricompensa fu apparentemente piuttosto scarsa: ossia l'apprendere a considerare le quantità infinitesime del Calcolo come davvero "infinitamente piccole" liberandomi dalle goffe quantità finite che si trovano nella maggior parte dei testi di Calcolo.

Il rovescio fu che i miei studi di Fisica, dall'inizio, ebbero un orientamento formale: certo questo fu spesso sorgente di difficoltà perché la Fisica, e perfino la Matematica, non sono discipline puramente deduttive. Così, iniziando il lavoro di Ricerca mi trovai indirizzato allo studio delle proprietà statistiche della materia da una prospettiva in cui si esigeva una chiara formulazione delle ipotesi e che le conclusioni fossero altrettanto chiaramente interpretabili in termini di proprietà dei "fenomeni" pur se formulate in un linguaggio che, come Galilei intese, consentiva di leggere il "libro della Natura" in "caratteri matematici".

Pervenni a vedere i fenomeni, molti di essi (dai moti planetari alla teoria dei campi quantizzati), come risultato di competizione di eventi simili ma svolgentesi su diverse scale di spazio e di tempo e cospiranti a produrre risultati apparentemente "divergenti" (o "infiniti" e quindi senza senso) che ne rendevano difficile l'interpretazione e riduzione a quantità calcolabili e corrispondenti a grandezze misurabili. Questo spesso richiedeva (e richiede) notevole lavoro tecnico e avere a che fare con espressioni e formalismi apparentemente complessi. Ma non li ho mai visti come "difficili" (pur facendo talvolta errori): concettualmente apparivano sempre composizioni di passi semplici, logicamente connessi ma completi senza riferimento al resto. La differenza, ora, era la possibilità di intendere (così mi pareva, almeno) le implicazioni globali e la conseguente costruzione di modelli della realtà rivestenti un'apparenza di certezza logica. In un mondo in cui poco può essere certo questo mi è sempre parso assai attraente e stimolante.

Originalità o profondità di comprensione mi appaiono ora impossibili senza uno sviluppo delle capacità deduttive e induttive della mente. Questo può essere conseguito certamente in vari modi: nel mio caso senza un'educazione in studi classici non avrei forse visto la Scienza come un tutto unitario, seppure in una continua evoluzione soggetta e influente sulla società (nel bene e nel male), ma piuttosto come un'arida successione di fatti, teoremi, regole, esperimenti.

Rimpiango che il tipo di formazione culturale, comune in Italia fino agli anni Cinquanta, basata su studi umanistici sembra cedere il passo a "studi applicati", su "problemi utili": pare evidente (forse) che questa sia una scelta errata; né è di consolazione che non sia la prima nella Storia come insegna, ad esempio, la decadenza della Scienza Alessandrina.

Avendo forse dimenticato quel che davvero fu, questo è quanto mi piace ricordare che sia stato ("così è, se vi pare").

---

**ISTRUZIONE, SCIENZA E FORTUNA<sup>22</sup>**


---

*Vitaly L. Ginzburg*

P.N. Lebedev Physical Institute  
Moscow, Russia



© Cortesia di Maria S. Akssent'eva

I miei anni di scuola coincisero con il periodo probabilmente più sfortunato nella storia dell'istruzione secondaria sovietica. Delle vecchie scuole (ginnasi, ecc.) erano rimasti solo gli edifici, ma fortunatamente erano rimasti alcuni anziani ed eccellenti insegnanti. Sul resto regnava il caos. Nel 1931, ottenni il diploma di maturità dopo un corso di studi di sette anni, in quanto il nostro sistema scolastico era stato accorciato per permetterci di imparare un mestiere proletario in una fabbrica. Finalmente, qualche anno dopo, questo sistema totalmente sbagliato fu cambiato in favore di uno che prevedeva 10 o 11 anni di studio.

Ho l'impressione di aver imparato poco a scuola, a causa della mancanza di un'atmosfera "educativa" appropriata, anche ed in particolare all'interno della famiglia. Tuttavia, il mio interesse per la fisica si palesò anche in quegli anni e in modo molto netto, ma io stesso non capisco come possa essere accaduto. Ero appassionato del libro di O.D. Khvolson *Fizika Nashikh Dnei* (La Fisica dei Giorni Nostri) che lessi a scuola o subito dopo il diploma, se ricordo bene. Nonostante tutto, ero sicuro che avrei studiato fisica, sebbene non ricordi né l'insegnante né i libri di testo.

Dopo il diploma, trovai un lavoro come assistente di laboratorio presso l'Istituto serale per la costruzione delle macchine. Inizialmente, ero in prova nel laboratorio di A.A. Bochvar dell'Istituto di Metallurgia Non Ferrosa, ed in seguito nel laboratorio per i raggi X. I miei diretti superiori erano E.F. Bakhmetev e N.K. Kozhina (per qualche tempo, anche Ya.P. Silisskii); il grande capo era Venya Tsukerman. C'era anche Leva Al'tshuler. Avevamo instaurato un buon rapporto e lavoravamo bene; io ero l'ultimo arrivato, gli altri erano tre anni più grandi di me e sapevano di più. Ven'ka ci chiamava "le 3 V": Venya, Vitya e Vladimirovich (il patronimico di Al'tshuler).

Il lavoro di laboratorio mi fu molto utile: imparai l'importanza delle risorse (seguendo l'esempio di Venya) e le doti sperimentali. In fisica, per non parlare della matematica, non feci progressi significativi. Il 1933 fu il primo anno di "libera" iscrizione all'Università Statale di Mosca (MGU), nel senso che si accedeva in seguito ad una selezione e non per assegnazione dei posti. Io decisi di iscrivermi a fisica. In tre mesi terminai tre diversi corsi di formazione, dall'ottavo al decimo, ma sono comunque convinto che la mancanza di una buona e regolare

---

<sup>22</sup> Tema approfondito nel mio libro *About Science, Myself and Others*, presto in commercio. (IoP Bristol, 2004).

istruzione superiore ebbe un impatto negativo su di me. Uno studente delle superiori risolve, più o meno, 100 o 1000 problemi di trigonometria, logaritmi, ecc., mentre io ne risolsi 10 o 100 volte di meno. La stessa cosa valeva per l'aritmetica. Questa lacuna me la portai dietro per sempre: sono molto lento nei calcoli, mi ci vuole molto impegno e spesso commetto degli errori e mi mancano gli automatismi. Non mi è mai piaciuto fare i calcoli, ne ho sempre avuto un certo timore. Naturalmente, dietro quest'antipatia, si cela una mancanza di abilità matematica, al contrario della maggior parte degli altri fisici teorici; ma questa è stata proprio una conseguenza diretta della mancanza di un'istruzione superiore adeguata.

Com'è facile pensare, non aver frequentato una scuola normale ebbe delle conseguenze non solo in ambito scientifico. All'età di 30 anni, lessi per la prima volta *Byloe i Dumy* (Il passato e la meditazione) e altre opere letterarie (ma non penso che questo sia necessariamente uno svantaggio). A risentirne più di tutto, fu il russo. Al secondo anno di università, tutti noi studenti seguivamo dei corsi di ortografia e il mio voto era spesso "insoddisfacente" in quanto commettevo almeno 8 errori. Anche adesso faccio errori di ortografia. Fare errori di grammatica non è così grave come non essere capaci a scrivere o non avere la padronanza dello stile e della lingua. Io mi esprimo in maniera molto semplice e spesso le mie frasi non sono corrette. A questo proposito, ricordo una conversazione con G.S. Gorelik che era solito scrivere bene e quando gli chiesi come riuscisse a farlo, mi rispose con una domanda: "Quante volte vi facevano fare temi a scuola?" La mia risposta fu una volta a settimana o ogni due settimane. Gorelik mi disse che aveva studiato in Svizzera dove faceva temi ogni giorno. Ecco perché le mie conoscenze scolastiche sono così lacunose. Sfortunatamente, non conosco nemmeno le lingue straniere, sebbene, grazie a Dio, sia riuscito a imparare l'inglese (ma riesco solo a parlarlo, pur facendo errori; invece sono quasi totalmente incapace di scrivere senza che qualcuno debba apportare correzioni). Dico tutto questo perché sono giunto alla conclusione che ogni individuo non possa avere successo e soddisfazioni nel mondo del lavoro, solo improvvisando. Non conoscere le lingue straniere è una vera e propria disgrazia! Per non parlare degli svantaggi sul lavoro. Gli europei non hanno questo problema: tutti i fisici olandesi parlano inglese molto bene e probabilmente conoscono anche il tedesco e il francese. Se si ha dimestichezza con le lingue, è possibile impararle anche da soli, posto che si cominci da piccoli, e non è necessario studiarle a scuola. Ma cosa succede se un individuo non è portato per le lingue? Sicuramente ognuno di noi possiede delle doti diverse. Io, ad esempio, sono assolutamente incapace di memorizzare le poesie e, in generale, di imparare a memoria qualsiasi cosa. A scuola, da bambino, forse avrei potuto colmare questa lacuna. Per tutta la vita, ho sofferto per la mia ignoranza nelle lingue, che mi avrebbero permesso di imparare molte cose. Tuttavia, quando si è coinvolti in un lavoro che appassiona, ci si prenderebbe la briga di imparare le coniugazioni o i nomi delle costellazioni? Io per primo non sono mai stato capace di farlo.

In generale, credo che nessun sistema scolastico sia in grado di creare i bravi scrittori, i fisici o i matematici, a meno che questi già non dimostrino di avere una certa inclinazione. Allo stesso tempo, "essere portati" non basta. Esistono tante persone di talento che non sono mai riuscite a capire le proprie potenzialità, anche a causa delle lacune del sistema di istruzione. Inoltre, con un buon bagaglio educativo, una buona formazione, ecc. un individuo con capacità medie può diventare un buon professionista; ma senza istruzione sarebbe un fallito, non avrebbe stimoli, non avrebbe soddisfazione nel lavoro, ecc. Mi sto dilungando

troppo ma ho sollevato questo argomento perché mi è capitato spesso di pensare alle carenze causatemi dalle condizioni scolastiche sfavorevoli in cui mi sono trovato. Naturalmente, non potrò mai sapere cosa sarebbe successo in condizioni diverse.

Da un lato, credo di essere stato molto fortunato ad avere scoperto le mie modeste capacità, ma dall'altro mi chiedo cosa sarebbe successo se avessi seguito un buon percorso scolastico di 10 anni e se avessi avuto il sostegno familiare (non ne ricevevo alcuno). A questo punto vorrei toccare un altro argomento a cui mi capita spesso di pensare. Si prendano, ad esempio, un atleta che riesce a fare 100m in 9.9 secondi e che per questo diventa campione olimpico e uno sprinter che invece impiega 10.2 secondi e che si classifica quarto, e quindi non riesce neppure a vincere la medaglia di bronzo (questi numeri sono totalmente arbitrari). In entrambi i casi, le circostanze casuali possono aver avuto un certo peso: come aveva dormito l'atleta? Cosa aveva mangiato? Come si era posizionato in pista? ecc. Fortunatamente, ciò non avviene nel campo scientifico: anche uno scienziato che occupi il quarto posto si trova in un'ottima posizione: offre il suo contributo, scrive buoni articoli (certamente lo scienziato numero uno scrive ottimi articoli). Ma la fortuna e le buone opportunità possono svolgere comunque un ruolo cruciale. Ciò non vale per giganti quali Einstein, perché il suo distacco dagli altri è troppo grande, e anche nel caso di talenti quali Maxwell, Bohr, Planck, Pauli, Fermi, Heisenberg e Dirac la fortuna o la casualità non hanno avuto grande rilevanza. De Broglie e Schrödinger, dal mio punto di vista, sono un'altra cosa, per non parlare poi di molti premi Nobel. Max von Laue era un ottimo fisico, ma si dice spesso che l'idea della diffrazione dei raggi X nei cristalli è stata "un'idea della birra" (Bieridee). Braggs, Roentgen, Zeeman, Stark, Lenard, Josephson, Penzias e Wilson, Hewish e Ryle, Cherenkov, Basov e Prokhorov, come pure i 3/4 dei vincitori del Premio Nobel hanno solo avuto colpi di fortuna, piuttosto che colpi di genio. Dicendo questo, intendo solo sottolineare che le possibilità di successo dipendono sia dalla fortuna sia da un'ampia gamma di fattori, tra cui le buone condizioni di salute, un articolo o un libro letti al momento giusto, ambizione (nel senso di stimolo) e forse molti altri. Interessante, no?

## ASCOLTA LA VOCE DELLA TUA COSCIENZA

---

*Maurice Goldhaber*

Director Emeritus  
Brookhaven National Laboratory  
New York, USA



© Cortesia del Brookhaven  
National Laboratory

Ascolta la tua voce interiore e non arrenderti quando un'idea ti viene criticata. La mia esperienza mi dice che se rifletti prima di parlare a qualcuno molto critico verso nuove idee, potresti essere in grado di difenderle.

## LE DELIZIE DELLA TEORIA DELLE STRINGHE

*Michael B. Green*

Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics  
Cambridge, UK



© Cortesia di Michael B. Green

Il mio interesse per la fisica fu stimolato in tenera età da una congiunzione virtuosa fra genitori dediti alla mia istruzione e un eccezionale professore di fisica a scuola. Dopo la laurea a Cambridge, nel 1967, cominciai gli studi per il dottorato in fisica delle particelle elementari, sempre a Cambridge. A quei tempi non esisteva ancora una teoria coerente che comprendesse la maggior parte delle forze fondamentali. Il quadro teorico conosciuto come teoria quantistica dei campi, che si era dimostrato molto utile per abbinare elettromagnetismo e teoria dei quanti negli anni 40 del novecento, risultava quasi inutile per descrivere le altre tre forze. Negli anni Sessanta si erano accumulati molti dati sperimentali su particelle fortemente interagenti come i protoni e i mesoni. Secondo il modello a quark di Gell-Mann e Zwieg, queste particelle sono composte di quark e anti-quark, ma allora non esisteva ancora una descrizione teorica della forza nucleare forte che tiene uniti i quark.

Analogamente, non vi era una vera e propria descrizione della forza debole associata ai neutrini. La terza forza, che è la forza di gravità descritta dalla teoria della relatività di Einstein, poneva particolari problemi teorici. Anche se la forza di gravità è troppo debole per essere misurata direttamente negli esperimenti terrestri di fisica delle particelle, dovrebbe diventare la forza predominante a distanze ultra-corte, intorno alla scala di Planck di  $10^{-35}$  metri. Tuttavia, ogni tentativo di unificare la teoria della relatività generale con la teoria dei quanti su scale così microscopiche è fallito del tutto. Per esempio, quelle convenzionali teorie quantistiche dei campi che includono la gravità fanno spesso previsioni che contengono infiniti senza senso, a dimostrazione della loro inadeguatezza nel descrivere la fisica a distanza ultra-corta.

Per queste ragioni, nel 1967 la teoria quantistica dei campi fu pressoché abbandonata in alcune istituzioni, compresa Cambridge, malgrado i suoi eclatanti successi nella descrizione dell'elettrodinamica dei quanti. Un approccio alternativo di "Matrice S" era stato proposto per descrivere la forza nucleare forte, mentre le altre forze erano ritenute impossibili da analizzare. Eppure proprio quell'anno c'era chi stava formulando la teoria quantistica unificata dei campi elettrodeboli che portò al notevole successo del Modello Standard! Nonostante che il punto di vista della Matrice S non risultasse di per sé utile, essa spinse comunque Veneziano a proporre coraggiosamente una formula relativamente semplice che avrebbe dovuto

descrivere l'urto dei mesoni. Questa importante ipotesi fu resa nota nel 1968 ed ebbe un enorme impatto sulla mia carriera da quel momento in poi. Ci vollero un paio d'anni per capire che la formula di diffusione di Veneziano poteva derivare da una teoria nella quale i mesoni sono considerati come oggetti estesi simili a stringhe: era l'inizio della teoria delle stringhe. Benché i miei interessi nei primi anni Settanta fossero di natura fenomenologica, ero sempre più attratto dalla novità, l'eleganza e la ricchezza della teoria delle stringhe. L'idea essenziale della teoria è sorprendentemente semplice: si basa sulla premessa che le particelle fondamentali siano estese, come stringhe, mentre tutte le convenzionali teorie quantistiche dei campi le consideravano simili a punti. La stringa, diversamente dal punto, può vibrare. Esistono varie modalità di vibrazione; ognuna di queste ha una frequenza diversa e rappresenta un tipo differente di particella elementare. Tutto ciò fornisce un modo molto attraente di unificare grandi varietà di particelle.

Ciò nonostante, le prime versioni della teoria delle stringhe mostravano qualche problema e l'interesse generale scemò con l'invenzione di una teoria quantistica dei campi conosciuta come QCD, che esaminava la forza nucleare forte e la conseguente formulazione del Modello Standard, il quale descriveva le forze non gravitazionali in termini di teoria quantistica dei campi. Io rimasi comunque incantato dalla struttura della teoria delle stringhe e nel 1979 presi a collaborare con John Schwarz che conoscevo da quando eravamo entrambi a Princeton nei primi anni Settanta, anche se non avevamo mai lavorato insieme. Eravamo determinati a capire come costruire valide teorie delle stringhe che incorporassero la gravità e potessero fornire una descrizione complessiva di tutte le forze, inclusa la forza di gravità. In questa ottica, tutte le particelle chiamate particelle fondamentali – gravitone, fotone, quark, elettrone, neutrini e altre particelle – verrebbero identificate come diverse modalità di vibrazione di uno stesso tipo di stringa. Inoltre, il fatto che la stringa abbia una dimensione piccolissima, ma non nulla, ha un effetto determinante sulla struttura a piccola distanza della teoria, necessaria per formulare una teoria efficace contenente gli effetti della gravità quantistica a livello della scala di Planck.

A quel tempo e per alcuni anni dopo, pochi ricercatori si interessarono alla teoria delle stringhe, e quindi non eravamo vincolati dalla competizione. Per quattro anni a partire dal 1980, pubblicammo una serie di articoli formulando vari tipi di teorie delle superstringhe – il prefisso “super” si riferisce alla proprietà di supersimmetria presente in queste teorie. Presto fu evidente che stava nascendo qualcosa d'importante: dimostrammo che due tipi di teoria delle superstringhe evitavano i problematici infiniti ultravioletti che avevano bloccato ogni precedente tentativo di unire gravità e teoria dei quanti. Per la prima volta avevamo la prospettiva di una valida teoria quantistica della gravità, anche se la teoria delle stringhe era talmente poco nota a molti dei nostri colleghi che questo risultato ebbe scarso riscontro nell'immediato. Nell'estate del 1984 John Schwarz ed io ci incontrammo ad Aspen, in Colorado, e dimostrammo che le teorie delle superstringhe sono anche prive delle ‘anomalie’ gravitazionali e di Yang-Mills. Queste anomalie sono delle incongruenze che si erano manifestate in quasi tutte le più interessanti teorie quantistiche dei campi unificati, e per tanto ci si aspettava che si verificassero anche nella teoria delle stringhe. Dopo avere dimostrato l'assenza di anomalie in alcune specifiche teorie delle stringhe, ci fu un'immediata crescita di interesse per l'argomento e un gran numero di fisici teorici cominciarono a studiare la teoria delle stringhe. Nel giro di pochi mesi si capì come la teoria, che era stata formulata in maniera

alquanto astratta in dieci dimensioni spazio-temporali, potesse avere correlazioni con la fisica osservata nel nostro universo quadridimensionale.

Fino al 1984 avevo avuto solo la possibilità di parlare per cinque minuti della teoria delle stringhe in un piccolo seminario tenutosi all'ICTP. Successivamente, sono stato sommerso da inviti a conferenze internazionali e seminari. Sono particolarmente riconoscente ad Abdus Salam, che era molto interessato all'argomento e mi ha dato l'opportunità di organizzare ogni anno una scuola di teoria delle stringhe all'ICTP tra il 1986 e il 1990. La neonata popolarità dell'argomento è stata gratificante in molti modi, ma erano lontani i giorni in cui John Schwarz ed io potevamo passare qualche mese assieme e riprendere il lavoro dove lo avevamo lasciato un anno prima. La teoria delle stringhe ha fatto dei grandi passi avanti negli ultimi venti anni. Adesso capiamo molto di più su come le tipologie, apparentemente diverse, di teoria delle stringhe siano tutte collegate fra loro e anche con una teoria nota come supergravità a 11 dimensioni. Questo insieme di relazioni è chiamato correntemente 'Teoria M'. Molti aspetti della teoria, però, sono ancora lontani dall'essere completamente chiari e manca ancora una versione semplice della stessa che colga gli aspetti essenziali dello spazio-tempo quantistico. Ciò è necessario non soltanto per formulare la teoria in maniera più completa, ma anche per capire le sue previsioni sugli esperimenti di fisica delle particelle e di cosmologia.

Dai suoi misteriosi esordi come modello per descrivere la forza nucleare forte, la teoria delle stringhe si è evoluta in un'area centrale di ricerca che collega fisica teorica e pratica delle particelle elementari, gravità quantistica e cosmologia. Essa è caratterizzata inoltre da una notevole simbiosi con alcune delle più interessanti aree della matematica e proprio perché vi sono ancora molti aspetti inesplorati in quest'affascinante teoria, sarà ancora fonte di ispirazione negli anni a venire.

## MISURARE LA COSCIENZA

*Susan Greenfield*

The Royal Institution of Great Britain, London, UK



© Cortesia di Frederic Arnada

Ricordo che, quando andavo a scuola, le scienze erano insegnate piuttosto male e di conseguenza non mi suscitavano un interesse particolare. A quei tempi, nelle ore di biologia, dovevamo semplicemente scrivere quello che dettava l'insegnante, ad esempio, sul ciclo vitale dell'ameba. L'ordine era l'unico fattore distintivo tra noi studenti e devo ammettere che non era il mio forte.

Il programma di chimica prevedeva che imparassimo la distillazione dell'acqua, anche se nessuno ci spiegò mai il perché. La materia più interattiva era forse la fisica: in quel periodo era appena stato lanciato il Nuffield Six e in classe ci facevano "giocare" con i carrelli dei nastri perforati per acquisire il senso di tempo e di spazio o strofinare ghiaccio secco contro il vetro per capire il concetto di "frizione". Gli insegnanti di scienze erano molto severi, tuttavia prediligevano di gran lunga le materie scientifiche a quelle letterarie.

Nessuno mi aveva detto che per aver accesso alle emozioni che la scienza sa infondere, bisogna prima conoscerne bene le basi – io pensavo che le basi fossero tutto quello che c'era da sapere. In quel periodo, pensavo che la scienza non fosse la strada giusta per me. Qualche tempo dopo, mi resi conto che la passione nei confronti della scienza poteva nascere anche solo considerando quanto essa fosse importante per la vita dell'uomo e quanto fosse straordinaria la capacità che ogni individuo ha di avere idee proprie.

Quando andai ad Oxford per studiare filosofia, attraversai un periodo di grande frustrazione: non facevamo altro che parlare e proporre idee, ma non c'era niente che potesse essere provato e, come se non bastasse, nemmeno le idee erano particolarmente originali. Ci concentrammo sullo studio della struttura del linguaggio e ricordo di essermi sentita profondamente demotivata quando mi trovai a dover leggere un intero capitolo sull'articolo determinativo.

Nel frattempo, la mia altra materia di studio, la psicologia, si stava rivelando più utile nel rispondere alle domande che mi ero posta. In quegli anni si trattava di una disciplina relativamente nuova, il cui raggio d'azione non era ancora ben noto, ed i requisiti per entrare in facoltà erano meno selettivi di quelli richiesti nelle facoltà scientifiche. Così, per la prima

volta, ebbi modo di conoscere non solo il metodo scientifico e il concetto di controllo, ma anche l'idea che non tutto era già noto e accertato. Invece di esserne scoraggiata, questa incertezza mi incuriosiva, perché lasciava spazio alla scoperta.

Durante gli studi di psicologia, ebbi l'opportunità di partecipare ad un esperimento di dissezione del cervello umano. Ricorderò sempre il giorno in cui ci furono consegnati dei contenitori di plastica e noi dovvemmo rimboccarci le maniche, infilarci i guanti da chirurgo, immergere le mani nel fluido maleodorante in cui era conservato il cervello per poi prelevare e tenere in una mano quella che una volta era stata l'essenza di un essere umano. In quel momento pensai che se me ne fosse rimasto un pezzo sotto un'unghia, quella poteva essere la parte del cervello con cui qualcuno aveva amato, o poteva essere un ricordo, o un'abitudine. Credo che fu in quel preciso momento che la scienza mi catturò una volta per tutte.

L'idea che i nostri sentimenti, la nostra essenza e il meraviglioso mondo interiore e personale in cui nessuno può entrare sono in qualche modo generati da quella massa limacciosa che è il cervello fisico è, a mio modo di vedere, l'aspetto più interessante, non solo per gli scienziati ma anche per ogni essere umano che desideri porsi delle domande su se stesso. Ed è naturale che poi sorgano altre domande: Cosa rende unico ogni individuo? Come cambiamo, come impariamo? I geni influiscono sul nostro comportamento? Se sì, in che modo? Come può il pensiero influenzare la nostra salute?

Penso che il mio maggiore contributo in questo campo sia l'idea che queste sensazioni soggettive possono essere studiate col metodo scientifico. Il problema è che gli scienziati, occupandosi di cose che possono essere "misurate", odiano la soggettività. La mia idea è che la coscienza, lungi dall'essere una specie di qualità magica, è in effetti anche qualcosa che si presenta in gradi, e di conseguenza può essere misurata. Per me tutto questo ha senso, considerato che parliamo dello "sviluppo più o meno accentuato della coscienza" o del "risveglio della coscienza". Penso che nel futuro scopriremo il modo di osservare i cambiamenti graduali di coscienza all'interno del cervello, il modo di metterli in relazione tra di loro e riusciremo anche ad individuarne gli stati d'animo corrispondenti.

Benché non sia certa che alla fine riusciremo a trasformare l'"acqua" dell'attività neuronale nel "vino" dell'esperienza soggettiva, si tratta sicuramente una ricerca molto appassionante.

## ALCUNE RIFLESSIONI SULLA PROFESSIONE DI MATEMATICO

*Phillip A. Griffiths*

Institute for Advanced Study at Princeton, USA



© Cortesia di Phillip A. Griffiths

### 1. PRIME INFLUENZE

Sono stato attratto dalla matematica fin dalle scuole elementari; scoprii che mi piaceva l'aritmetica perché era facile e divertente. Quando conobbi Lottie Wilson, la mia prima ed eccellente insegnante di matematica, il divertimento si trasformò in passione. Era docente di aritmetica presso la *Woodward Academy*, una scuola superiore che allora si chiamava *Georgia Military Academy*. A quel tempo poche donne insegnavano matematica, ma la signora Wilson aveva una spiccata predisposizione per la materia ed era una docente straordinaria. Sono certo che, se avesse avuto la possibilità di proseguire gli studi e di conseguire un dottorato, sarebbe diventata docente universitaria. Grazie a lei, mi resi conto di quanta soddisfazione rechi la soluzione dei problemi di matematica e di quanto affascinante sia questa materia.

Qualche tempo dopo, vinsi una borsa di studio per giocare a basket con la Wake Forest University nel Nord Carolina. Ancora oggi, quando ricordo questo fatto, non posso che esserne sorpreso. Infatti, pur essendo abbastanza bravo a fare canestro, non ero veloce come tanti altri giocatori e non riuscivo a saltare molto in alto. Mi comunicarono infatti che non avrei giocato molto e mi chiesero di aiutare alcuni altri giocatori con la matematica. Ricorderò sempre uno di questi giocatori, un robusto quarterback che si chiamava Sonny Jergenson, che divenne poi un famoso giocatore professionista di football nella squadra dei Washington Redskins. Non credo che imparò molto bene la matematica, ma in compenso io mi resi conto che mi piaceva insegnarla, cosa che ho continuato a fare fin da allora.

### 2. LA NATURA DELLA MATEMATICA

Uno dei motivi per cui sono affascinato dalla matematica è il suo linguaggio flessibile, ma preciso. Ci sono molti modi per descrivere il mondo, attraverso la poesia o la pittura. Le descrizioni fornite dalla matematica sono, tuttavia, insolite perché offrono allo scienziato il lessico per formulare le "regole" che spiegano il funzionamento del mondo. I matematici usano questo linguaggio per spiegare il movimento di un veicolo attraverso lo spazio sfruttando la forza di gravità, oppure il processo di piegatura delle proteine, o lo scorrere dell'acqua attorno ad una roccia. I matematici possono quindi formulare ipotesi per spiegare questo tipo di fenomeni e se le ipotesi sembrano corrette, cercheranno di dimostrarle con

opportuni esperimenti. Infatti, la dimostrazione matematica è il loro modo di spiegare il mondo.

### 3. LA NATURA DELLA GEOMETRIA

Nell'ambito della matematica, la geometria, che significa "misurare la terra", mi interessa in modo particolare. I primi matematici specializzati in geometria misuravano le dimensioni della terra, ad esempio l'altezza delle montagne e la larghezza dei fiumi, solo con angoli e distanze senza dover scalare montagne o attraversare fiumi. Ed è proprio per queste sue potenzialità che la matematica ha cominciato ad essere apprezzata. Il linguaggio della geometria è visivo: infatti, si può fare geometria semplicemente chiudendo gli occhi e usando l'immaginazione per risolvere problemi complessi come, ad esempio, calcolare quante dimensioni può avere la materia, o cosa succede nello spazio all'interno di un buco nero. Amo andare in barca a vela e spesso mi sdraio sul pontile della barca e guardo il cielo pensando alla geometria. Ho avuto alcune delle mie migliori intuizioni navigando, passeggiando o anche solo osservando il fiume Delaware dalla mia casa in New Jersey.

### 4. CONTRIBUTO A QUESTA DISCIPLINA

Mi considero veramente fortunato, come altri scienziati, perché ho potuto apprendere la matematica attraverso il contributo di grandi matematici. Alcuni di questi giganti della matematica erano il norvegese Niels Henrik Abel, lo statunitense Don Spencer, il francese Emile Picard, il cinese S.S. Chern. Gli scienziati e i matematici provengono da tutto il mondo. I miei studi avanzati consistettero per lo più nel capire il lavoro di questi grandi matematici ed aggiungervi un piccolo contributo. Quando studiavo per il dottorato, non c'erano buoni testi sugli argomenti che mi interessavano, così dovetti studiare i testi scritti dagli stessi matematici. È un percorso difficile ma molto gratificante per chi desidera conoscere a fondo questa disciplina. Grazie ai miei primi insegnanti e collaboratori, sono stato in grado di contribuire a tre settori della matematica: analisi complessa, geometria algebrica ed equazioni differenziali. Uno dei più grandi contributi che un matematico può offrire è di essere un buon insegnante ed io spero di riuscire a dare ai miei studenti tanto quanto ho ricevuto dai miei insegnanti.

### 5. CONTRIBUTO AL MONDO

Uno dei motivi per cui i matematici hanno tante soddisfazioni è che la matematica ha il potere di contribuire al progresso del mondo. Chi ha buone basi di matematica può contribuire allo sviluppo di altre discipline scientifiche, in quanto la matematica fornisce "il linguaggio" per descrivere i fenomeni e gli strumenti analitici per dare risposte precise a problemi complessi. La matematica è usata quotidianamente in settori come la fisica, l'informatica, la chimica, l'epidemiologia e l'ingegneria. I matematici collaborano con i biologi per capire il funzionamento di geni e proteine; con gli epidemiologi per scoprire come si diffondono le malattie infettive e con i meteorologi per studiare in modo più approfondito il fenomeno del buco dell'ozono sopra l'Antartide. La matematica arricchisce molte altre discipline oltre a quelle scientifiche; per esempio permette agli esperti finanziari di calcolare i rischi del mercato azionario e agli esperti di internet di sviluppare nuovi codici di sicurezza.

L'utilità della matematica come strumento essenziale è sempre più evidente anche per chi non opera in questo settore. Per chi non è un matematico è molto più difficile capire la

bellezza di questa materia. Ed è proprio un peccato che così poche persone abbiano la possibilità di vedere il mondo da un punto di vista così particolare. Risolvere un problema è un po' come cucinare seguendo le indicazioni di una ricetta complessa ottenendo subito un buon risultato e, al secondo tentativo, un prodotto ancora migliore.

Una delle più grandi soddisfazioni della mia vita professionale è stata quella di insegnare matematica in modo tale che gli studenti potessero apprezzarne la bellezza.

## LA TEORIA DEI NUMERI IN TOPOLOGIA

*Friedrich E.P. Hirzebruch*  
Max-Planck Institut für Mathematik  
Bonn, Germany



© Cortesia del Max-Planck Institut für Mathematik

Sono nato a Hamm, nella regione della Westfalia, in Germania, nell'ottobre 1927. Mio padre era preside di una scuola superiore e insegnante di matematica. Crebbi quindi in un ambiente scientifico, circondato dai libri di matematica e con un padre che sapeva sempre rispondere alle mie domande. Mi divertivo con i numeri. Studiai il termometro e scoprii che c'erano dei numeri "sotto zero" e le operazioni di addizione e sottrazione. Mio padre mi aiutò, in particolare, con la moltiplicazione. Era molto divertente. Prima di cominciare la scuola elementare, mio padre mi insegnò come moltiplicare tra loro i numeri tra 10 e 20:

$$17 \cdot 18 = (17+8) \cdot 10 + 7 \cdot 8 = 306$$

$$(10+a)(10+b) = (10+a+b) \cdot 10 + ab$$

Trucco semplice ma utile. Quando l'insegnante ci faceva esercitare a fare i calcoli a mente, chiedendoci di moltiplicare fra loro numeri tra il 10 e il 20, la mia mano si alzava nel momento stesso in cui lui finiva di parlare. Mi piaceva giocare con i numeri in questo e in altri modi. Mi dedicavo molto alla lettura, non solo dei libri previsti dai programmi di studio delle elementari e delle medie superiori. Amavo il libro *Von Zahlen und Figuren* ("Sui numeri e le figure") di Hans Rademacher e Otto Toeplitz, pubblicato nel 1933. Quando cominciai a leggere questo libro, forse nel 1938, non avevo idea che i due autori avessero dovuto lasciare la Germania a causa del regime nazista. Toeplitz morì a Gerusalemme già nel 1940. Un'edizione inglese del libro (tradotta da Herbert Zuckermann) fu pubblicata nel 1957 con una prefazione dell'autore Hans Rademacher, che viveva a Philadelphia, con il titolo *The Enjoyment of Mathematics*. Rademacher e Toeplitz scrivono nell'introduzione "...la nostra presentazione porrà l'accento non sui fatti, dal momento che altre scienze possono darne conto ai non esperti, bensì sui tipi di *fenomeni*, il *metodo di proporre problemi* e il *metodo di risolverli*." Il loro libro mostra che la bellezza della matematica, come la bellezza della musica, può essere mostrata in piccoli frammenti per essere apprezzata dai principianti. Gli studenti delle scuole superiori dovrebbero già conoscere i principi di base della matematica e discernere la sua bellezza.

È indispensabile avere buoni insegnanti. Io ho avuto la fortuna di averne di eccellenti, mio padre e libri come *The Enjoyment of Mathematics*. Permettetemi di menzionare alcuni argomenti tratti dai libri che più mi piacevano da ragazzo e che sono accessibili alla maggior parte degli studenti delle scuole superiori.

*The sequence of prime numbers*, che illustra il problema dell'esistenza di un numero infinito di numeri primi in determinate sequenze aritmetiche. *Incommensurable Segments and Irrational Numbers*, sullo stupore degli antichi Greci quando si resero conto che il lato e la diagonale di un quadrato non sono commensurabili. *A Minimum Property of the Pedal Triangle*, che propone la soluzione del seguente problema: dato un triangolo acutangolo, inscrivere in un triangolo il cui perimetro sia il minore possibile (giocando a biliardo su un tavolo a forma di triangolo acutangolo). *Pythagorean Numbers and Fermat's Theorem*. *Periodic Decimal Fractions*, contenente un algoritmo che permette di determinare la lunghezza del periodo. Questi e molti altri argomenti rendono la matematica divertente e un passatempo al di fuori della scuola. Sono fortunati quegli studenti i cui insegnanti presentano loro di tanto in tanto del materiale così prezioso, un diversivo alla normale e più pesante attività scolastica.

La mia vita felice di ragazzo e matematico principiante fu interrotta dalla guerra, dalle bombe e dal servizio militare, ausiliario e regolare. Il mio percorso scolastico rimase normale solo fino agli inizi del 1943. Nel marzo 1945, a 17 anni, doveti prestare il servizio militare. Fui fatto prigioniero di guerra in aprile e tornai a casa nel luglio 1945. Ebbi una fortuna enorme in confronto ad altri che furono costretti in campi di prigionia per molti anni. In questi periodi la matematica mi fu d'aiuto. Nel campo di prigionia ricevevamo dagli americani le razioni d'emergenza che consistevano in cibo sotto vuoto. I pacchi contenevano anche carta igienica e a volte una matita. Seduto in un buco nel terreno da me scavato per proteggermi dal vento e dalla pioggia (eravamo sempre all'aperto), scarabocchiavo qualche numero sulla carta igienica e cercavo di ricordarmi le dimostrazioni dei teoremi che amavo.

Cominciai a studiare matematica all'Università di Münster nel novembre 1945. La città era distrutta. A dispetto di tutte le difficoltà e della consapevolezza degli orribili crimini commessi dai tedeschi, *il divertimento fornito dalla matematica* diede a me e agli altri studenti (che in molti casi erano tornati dalla guerra dopo molti anni di servizio) un forte sostegno morale.

Nel 1952 fui invitato a lavorare all'Institute for Advanced Study di Princeton, nel New Jersey. Fui membro dell'istituto dal 1952 al 1954 e partecipai all'incessante dialogo tra i matematici di tutto il mondo. In questo stimolante ambiente ho realizzato la porzione più importante del mio lavoro.

Imparai la topologia più all'avanguardia e la teoria delle varietà differenziabili, in particolare il recentissimo lavoro di René Thom, e la applicai alla geometria algebrica, a quelle varietà che possono essere date da equazioni algebriche. Fui in grado di generalizzare dei teoremi classici su curve algebriche (il teorema di Riemann-Roch) a varietà algebriche di maggiori dimensioni. Le relazioni inaspettate fra diversi campi della matematica sono sempre state affascinanti per me, anche a carriera già avviata. Si svilupparono relazioni fra la teoria dei numeri e la topologia. Il teorema dell'indice di M.F. Atiyah e I. M. Singer è una forte generalizzazione del mio teorema di Riemann-Roch. Ha una "versione equivariante" che porta

ad un interessante studio di mappe con punti fissi isolati. Come contributi a questi punti fissi, ricomparvero delle espressioni che erano state precedentemente studiate nella teoria dei numeri (per esempio dal mio adorato autore Rademacher). Ciò condusse a relazioni inaspettate tra la teoria dei numeri e la topologia. Quando nel 1970 fu celebrata l'apertura di un nuovo edificio per la matematica a Princeton con un convegno chiamato "Prospettive per la Matematica", io proposi come tema "Ancora Teoria dei Numeri in Topologia".

Ho sempre considerato questa relazione come un bell'esempio dell'unità della matematica; diversi campi entrano in contatto tra loro e poi ancora con altri. Argomenti di ricerca come la geometria algebrica e la teoria dell'indice sono ora fondamentali per la fisica teorica.

## CRESCERE NELLA 'SCIENZA'

*John J. Hopfield*

Princeton University, USA



© Cortesia di John J. Hopfield

I bambini sono famosi per la loro naturale curiosità: sono capaci di stuzzicare un insetto per studiarne la reazione, di gettare dei rami in un torrente per vedere il percorso che faranno prima di rimanere incastrati, di smontare un giocattolo per vedere come sono fatti i pezzi e si chiedono dove vada a finire l'acqua quando si leva il tappo dal lavandino. Io sono cresciuto in una famiglia in cui l'esplorazione non era solo tollerata, ma era persino incoraggiata. I miei primi giochi consistevano, seduto sul pavimento della cucina, nel prendere pentole e padelle e smontare tutte le parti che potevano essere svitate. Mio padre riparava tutto: il tetto, la radio, le tubature, i cavi elettrici, il pianoforte, la macchina e curava anche l'orto. Mentre lo osservavo lavorare, quando ero bambino, mi illustrava i pezzi difettosi e il loro funzionamento. Mia madre aveva una vecchia macchina da cucire Singer e dentro uno dei cassetti teneva un cacciavite per piccole riparazioni. Io avevo il permesso di usarlo, a condizione che lo

rimettessi a posto. Molti anni dopo, mia madre mi raccontò che una volta, quando il medico di famiglia venne a casa a visitare una delle mie sorelle, notò con orrore che avevo smontato il nostro fonografo e che avevo lasciato tutti i pezzi sparpagliati sul pavimento del soggiorno (insinuando con ciò che ero un maleducato e che i miei genitori non mi controllavano abbastanza). Mia madre, tranquillamente, gli rispose: "Se il bambino non riesce a ricomporlo, lo farà suo padre". Ricordo ancora com'era fatto quel cacciavite. L'altro interessante oggetto di casa era una grande lente d'ingrandimento, utile per studiare le formiche o per bruciare un pezzo di carta con i raggi del sole.

Poco tempo dopo, mia madre mi iniziò agli esperimenti di chimica in cucina. Mi diede alcune provette, dei tappi e dei libri per bambini che descrivevano come ottenere l'idrogeno dallo zinco (preso dall'involucro esterno di una vecchia batteria) e l'aceto forte, o come sparare un tappo nella stanza usando l'aceto e il bicarbonato di sodio. Imparai così le molteplici ed insolite proprietà dello zolfo, riscaldato al punto da fondere, e imparai a far crescere singoli cristalli di zucchero e sale. L'idrogeno si riconosceva da un piacevole schiocco quando veniva acceso con un fiammifero. I cristalli non vennero mai così bene come nelle foto dei libri; tuttavia, si potevano distinguere le forme simmetriche, e chiedersene la causa. L'inchiostro invisibile fu un altro esperimento facilmente realizzabile in cucina. Mentre molti studenti vedono per la prima volta un indicatore di acidità in un laboratorio di chimica,

mio padre mi dimostrò che un cavolo rosso poteva avere questa funzione, in quanto diventava blu o rosso a seconda dell'acidità dell'ambiente circostante.

La mia esperienza con l'elettricità cominciò con un paio di batterie, qualche filo e alcune lampadine. In particolare, ricordo che provai ad arrotolare dei fili elettrici intorno ad un mucchio di chiodi per creare un elettromagnete e con gioia capii che questo congegno poteva essere utilizzato a mo' di telegrafo dalla mia camera fino in cucina.

Seguirono una cassetta di attrezzi giocattolo e un set di costruzioni. Avevo delle mani troppo piccole e i pezzi a mia disposizione non erano adeguati per realizzare le mie ambiziose idee, ma smaniavo dal desiderio di costruire qualcosa che funzionasse e che fosse di una qualche utilità. Per il mio compleanno i regali tipici erano pulegge, corde, una sega, martello e chiodi, proprio perché potessi cimentarmi con le costruzioni.

Volevo una radio, ma i miei genitori erano contrari al rumore. Arrivammo dunque ad un compromesso: potevo costruire una radio a cristallo, ossia una ricevente senza tubi a vuoto (prima ancora dei transistor). Mi diedero un vecchio paio di cuffie e un'altrettanto vecchia pubblicazione del Ministero dell'Agricoltura per la costruzione di radio a cristallo scritto nel 1930, per diffondere l'uso della radio nelle fattorie che non avevano ancora l'elettricità. L'elenco dei pezzi necessari comprendeva le cuffie, un cristallo di galena (solfuro di piombo) e dei fili elettrici da arrotolare intorno a dei tubi di cartoncino. Questa radio riceveva emittenti fino a 75 Km di distanza, senza bisogno delle batterie. Poiché volevo ricevere delle stazioni più distanti, cercai il progetto di una radio con un tubo a vuoto e misi da parte dei soldi per acquistare le parti che mi mancavano. Il mio primo approccio con l'elettronica fu molto pratico, in quanto costruii oggetti molto semplici, apportavo modifiche, osservavo ciò che funzionava. Ed era un'attività molto poco dispendiosa. La radio a cristallo nascondeva un mistero: come faceva un pezzo di filo elettrico a contatto con un cristallo di galena a sintonizzare il segnale radio a tal punto da agevolare il suono? Lo capii solo quando mi specializzai in fisica 12 anni dopo.

Le biciclette furono la mia successiva occupazione. Quando si rompevano i raggi, o quando non funzionavano bene i freni, smontavo il tutto. Mio padre mi veniva in aiuto e spesso andavamo da un meccanico, non tanto per farla riparare, che sarebbe stato troppo costoso, quanto per vedere come andava fatto il lavoro e per acquistare altri pezzi.

Poi iniziai a costruire modellini di aeroplani: da quelli azionati da un elastico a quelli azionati da un piccolo motore a benzina. Quest'esperienza che si rivelò molto utile anni dopo, quando mi ritrovai con la macchina in panne. Leggevo poche riviste scientifiche e qualche libro di astronomia ma divoravo qualsiasi testo che illustrasse l'applicazione pratica delle invenzioni nella vita di tutti i giorni.

Durante gli anni di scuola, le scienze erano insegnate molto male e, prima dei 12 anni, non erano materia di studio. Nei corsi di scienze di base gli insegnanti insistevano a farci imparare le cose a memoria piuttosto che sincerarsi che capissimo la materia o piuttosto che farci svolgere esperimenti. I miei voti erano molto bassi. Nel mio percorso scolastico ricordo due buoni insegnanti: il primo, quello di biologia, ci insegnava ad organizzare mentalmente i concetti, non a memorizzarli, e a trovare i legami tra gli esseri viventi. Fu la mia prima esperienza nel campo dell'osservazione scientifica diretta. Il secondo, l'insegnante di chimica

delle superiori, ci trattava da adulti, faceva delle ottime lezioni e organizzava attività di laboratorio in cui ebbi l'opportunità di fare esperimenti sofisticati che, da bambino, non avrei nemmeno potuto sognare di fare. Ad un tratto, diventai lo studente migliore della classe.

La fisica è esplorare ciò che ci circonda e che non riusciamo a comprendere, è ricerca di principi essenziali, di fatti e di descrizioni quantitative. Alcuni si innamorano dei misteri che circondano l'origine dell'universo o della natura del mondo su scale incredibilmente piccole. Essendo cresciuto con la curiosità di conoscere il mondo che mi circonda, con la voglia di capirlo e di manipolarlo, la parte più affascinante della fisica è, a mio modo di vedere, quella che studia le proprietà delle cose a grandezza umana e i legami tra di esse per evidenziarne la struttura e le proprietà microscopiche.

Con questo percorso, fu naturale scegliere fisica della materia condensata all'università. Per i primi dieci anni di ricerca, mi concentravo sull'interazione tra la luce e i solidi cristallini e sul legame di tale interazione con la struttura elettronica dei solidi e gli aspetti quantistici della luce. Fu un periodo meraviglioso, perché si trattava di settori assolutamente sconosciuti e incompresi. Gli esperimenti si succedevano uno dopo l'altro con molta rapidità cosicché le teorie furono subito comprovate. Fu anche un'ottima opportunità per acquisire un'ampia terminologia relativa ai modelli matematici di uso generale.

A seguito della crescente comprensione dei solidi, iniziai ad interessarmi ai sistemi biologici, area che necessitava ancora di spiegazioni dal punto di vista della fisica e in cui si stavano mano a mano raccogliendo dati sperimentali quantitativi. Il mio contributo in questo campo fu piuttosto insolito, in quanto ponevo dei quesiti non molto comuni. Infatti, sebbene il mio contributo alla fisica biologica teorica sia piuttosto noto, i miei contributi più significativi non sono stati profondi dal punto di vista matematico. Sono riuscito solo ad identificare problemi semplici, a porli in maniera chiara e a descriverne le soluzioni in modo da renderli comprensibili e adatti all'investigazione fisica.

Il mio articolo più citato, il primo che scrissi, verte sul funzionamento cerebrale e sul legame tra una nota area della fisica (il magnetismo e i vetri di *spin*) e il fenomeno psicologico della memoria associativa, attraverso un'astrazione fisica del comportamento di una serie di neuroni interconnessi. Questo studio introdusse l'idea che in neurobiologia l'elaborazione dei dati avviene tramite la traiettoria dinamica di un sistema con molti gradi di libertà che si muove verso un punto fisso (temporaneo) della sua dinamica. Conosciuto come "modello Hopfield", questo studio incitò molti fisici a guardare alle neurobiologia, in quanto evidenziava la potenziale utilità dell'applicazione di modelli di fisica alla neurobiologia. Personalmente, solo dopo due anni di conferenze e seminari di neurobiologia, riuscii a risolvere il problema. Il mio migliore articolo nel campo della biologia molecolare descrive il "proofreading cinetico" (un metodo generale di correzione di informazione a livello molecolare) ed è la mia prima pubblicazione sull'RNA transfer o sintesi delle proteine. Ancora una volta, è importante che la domanda sia formulata in maniera corretta. Un biologo direbbe: "come avviene la reazione desiderata?" Invece io direi: "perché non avviene la reazione indesiderata, sebbene sia così simile a quella desiderata?"

Attualmente, il mio entusiasmo in ambito scientifico è motivato da questa domanda: "come pensiamo?". È da molto che ci penso e con l'età le domande sono sempre più difficili.

È biologia o fisica? Non importa. Forse la migliore definizione di cosa sia la fisica è “ciò di cui si occupano i fisici”.

## UNA VITA DI SCIENZA E UN PO' DI POLITICA

*Julian C.R. Hunt*

University College, London, UK



© Cortesia di Julian C.R. Hunt

Gli scienziati si pongono ripetutamente delle domande e, come disse chiaramente il poeta latino Ovidio, raggiungono l'apice della felicità quando trovano le risposte, particolarmente se una spiegazione o una teoria è in grado di rispondere a molteplici domande e se trova allo stesso tempo applicazioni pratiche. L'obiettivo di alcuni scienziati è di trovare per primi una risposta, ma la maggior parte di noi non considera la scienza una sorta di gara. Piuttosto, come disse Isaac Newton, dopo che le teorie da lui avanzate si rivelarono la chiave del movimento dei pianeti, la sfida sta nel guardare nella stessa direzione degli scienziati del passato e cercare di trovare un orizzonte più lontano.

Imparai il valore degli esperimenti in occasione di una vacanza nel 1953 che mio fratello ed io trascorremmo dagli zii, il famoso matematico e scienziato Lewis Fry Richardson e sua moglie Dorothea. Tornati a casa dal villaggio dove avevamo

comprato due tipi di vernice, le versammo in un recipiente assieme ad altri prodotti chimici del piccolo laboratorio dello zio, tra cui acido solforico. Il risultato fu che un tipo di vernice diventò marrone e diffuse un terribile odore in tutta casa, mentre l'altra rimase inalterata. A quel punto non ci furono più dubbi su quale vernice utilizzare! Mio zio, che viveva in una casa che si affacciava su un tipico lago scozzese, pensava alla scienza in ogni momento del giorno. Ricordo molto bene quando mi spiegò che poco tempo prima aveva studiato le pastinache che galleggiavano nel lago e come si sparpagliavano nell'acqua a causa all'azione turbolenta dei vortici, proprio come i palloncini nell'atmosfera.

L'indagine scientifica e l'approccio sperimentale possono essere molto efficaci anche se applicati al comportamento umano ed ad ogni altra sfera della vita, come ho potuto verificare nel corso della mia carriera scientifica, amministrativa e politica. Dallo zio Richardson, ho imparato ad essere scettico; lui non credeva alle spiegazioni dei libri di storia, secondo cui le guerre venivano provocate dalle decisioni dei grandi leader. Dimostrò al contrario e con argomentazioni solide che queste dipendevano in realtà dall'andamento dell'industria degli armamenti e che, anche in questo caso, valgono leggi statistiche molto generali. La sua è una visione del mondo ancor oggi altamente controversa.

Io ero interessato alla meccanica e al moto dei fluidi, specialmente al vento, ai vortici e alle onde. Uno stimolo importante fu anche quello che ebbi da mio nonno, Maxwell Garnett,

membro onorario del Trinity College di Cambridge e affermato matematico ed amministratore. Da bambino, mi divertivo a progettare tracciati per i miei trenini elettrici, a costruire ingranaggi col Meccano e set di radio a cristallo in scatole di sigari. Ma fu navigare in acque burrascose lungo la costa meridionale della Gran Bretagna sul gommone del nonno, una volta persino con la neve, che risvegliò il mio interesse per la relazione tra fisica e natura.

Alla scuola superiore (Westminster) inventavamo degli esperimenti per dimostrare come mai un giro di corda intorno alla bitta di un molo o il morsetto di una barca riuscissero a sostenere una tensione così grande. La formula del rapporto della tensione, proporzionale a  $e^{2\mu\pi}$ , con  $\mu$  coefficiente di frizione, si dimostrò accurata. Fu questo uno degli esperimenti che mi convinse della bellezza e dell'utilità della scienza.

All'università scelsi ingegneria, con specializzazione in meccanica dei fluidi e termodinamica. Mi interessava molto cercare nuove fonti di energia, in particolare quelle generate riscaldando gas fino a ionizzarli per poi spingerli (alla velocità del suono) attraverso campi magnetici. Il problema riguardava la magnetoidrodinamica (MHD), una disciplina nuova e interessante, nata negli anni '40 per lo studio dei campi magnetici all'interno della Terra e nello spazio.

Usando le stesse equazioni utilizzate in astrofisica, studiammo i flussi magnetoidrodinamici e ci rendemmo conto di come, in laboratorio o in una centrale elettrica, essi si muovessero in maniera inaspettata, formando ad esempio dei getti lungo i lati delle tubature o anche in senso opposto. Poi, come spesso succede in campo scientifico e tecnologico, alcuni problemi persero importanza mentre altri divennero fondamentali. Sebbene la MHD e la fusione termonucleare, basata anch'essa su processi di MHD, continuano a suscitare l'interesse dei ricercatori, alla fine degli anni '60 non si pensava più che queste fonti energetiche potessero fornire benefici pratici.

In seguito fui sempre più coinvolto in problemi scientifici e pratici legati all'ambiente, soprattutto quando vidi le fotografie del nostro "pianeta blu" scattate dalla Luna e anche a seguito dell'incombente minaccia dell'inquinamento chimico globale e delle piogge acide. Le ricerche di fluidomeccanica apportarono un contributo significativo in questo senso, soprattutto in collaborazione con altre discipline, quali la chimica, la meteorologia, la geofisica e l'ingegneria. Per risolvere molti problemi ambientali, è necessario innanzi tutto analizzare quei processi che sono influenzati dal cambiamento del vento, quando questo trova sul suo corso edifici, colline, dune di sabbia, montagne, foreste, ecc. La distorsione dei vortici turbolenti ha un impatto sulla diffusione delle particelle, del gas e del calore dell'atmosfera verso il suolo. Ciò determina i livelli di concentrazione del fumo, della polvere, della sabbia, del polline e della temperatura. A volte è possibile controllare condizioni ambientali avverse, riducendo ad esempio l'inquinamento o progettando aree urbane più sostenibili in cui le condizioni di salute siano migliori. Ho partecipato a molti studi pratici in cui si fa spesso uso di matematica avanzata, ad esempio nel caso della topologia dei modelli di flusso. Ho potuto capire quanto sia importante il pensiero matematico per comprendere i risultati di tutti quei computer che oggi possono simulare i moti atmosferici e oceanici, a partire dal gorgo più piccolo (1cm) a quello più grande (1km). La ricerca ha dimostrato che la statistica della turbolenza (che definisce l'energia di varie scale di movimento) presenta diverse

caratteristiche per ogni flusso ambientale; tali statistiche tengono in considerazione la forma dei gorgi (se sono cioè vortici o getti) e la loro posizione.

Questa storia può essere riassunta in versi, usando le famose parole di L.F. Richardson negli anni '20. Egli studiò principalmente la meccanica di base del moto dei gorgi. I nuovi versetti descrivono le nuove idee sulla turbolenza nei flussi complessi.

*Lewis Fry Richardson:*

I piccoli mulinelli procurano ai grandi mulinelli la velocità,  
e i piccoli mulinelli saranno sempre più piccoli, e così via fino  
alla viscosità.

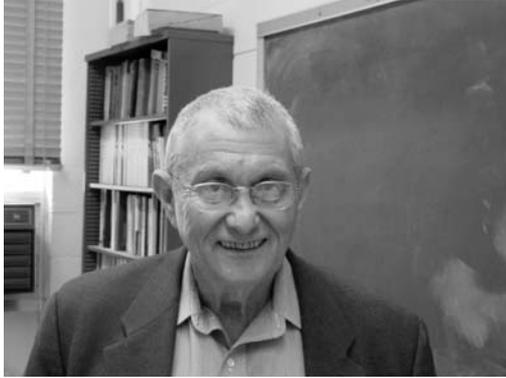
*Julian Hunt:*

I movimenti di questi gorgi sono come una sinfonia,  
ma se urtano un oggetto – oh, che cacofonia.  
I gorgi grandi si scontrano, quelli piccoli si dissolvono,  
nell'acqua o nell'aria la loro dinamica estendono;  
Con una stringa, un mulinello le statistiche si trasformano  
o a volte con un ferro di cavallo e nuovi modelli sorgono!

## IL TALENTO NON SEMPRE SI MANIFESTA PRESTO

*Daniel D. Joseph*

University of Minnesota, USA



© Cortesia di Daniel D. Joseph

Ho avuto una vita ricca di creatività nella scienza e in ingegneria, ma quando ero bambino, nessuno lo avrebbe creduto possibile. Forse avevo un talento per l'innovazione, ma me ne sono accorto solo dopo che si è manifestato. È ovvio quindi che non si dovrebbero sottovalutare le proprie abilità prima di conoscerle veramente.

Mio padre aveva una gioielleria a Chicago. Arrivò negli Stati Uniti a seguito di un'ondata migratoria dalla Russia. Nessuno nella sua famiglia o nella famiglia di mia madre aveva frequentato l'università o era particolarmente dedito allo studio.

Nessuno si aspettava che io andassi al college né fui mai incoraggiato in questo senso. Mio padre si aspettava che continuassi il suo lavoro. Alla scuola superiore ero uno studente normale e non avevo un'idea precisa su cosa avrei fatto nella mia vita. La mia comunità e i miei compagni di classe, che mi insegnarono il rispetto per lo studio, assente nella mia famiglia, erano prevalentemente ebrei di seconda o terza generazione. Tra i miei amici c'erano dei ragazzi intellettualmente dotati che influenzarono la mia vita in modo positivo.

Dopo il diploma di scuola superiore, mi iscrissi al Roosevelt College, al centro di Chicago. Molti miei amici andarono alla Chicago University, che io frequentai solo due anni più tardi. La Chicago University era ed è tuttora eccellente e a quei tempi, alla fine degli anni 40, era strutturata in modo particolare: un biennio in cui era insegnata la teoria e poi le specializzazioni, equivalenti ad intensivi corsi post-laurea. Io mi iscrissi a scienze sociali con una specializzazione in sociologia.

Studiaii lì dal 1948 al 1950. Vivevo in un appartamento con altri cinque ragazzi: alcuni di loro intrapresero brillanti carriere nei servizi sociali, in sociologia e giurisprudenza. Quelli furono anni d'oro per la fisica a Chicago dove fu realizzata per la prima volta, durante gli anni della guerra, una reazione termonucleare controllata e la facoltà era animata dai più grandi nomi della fisica del tempo. Uno dei miei compagni di stanza si iscrisse alla facoltà di fisica; noi lo chiamavamo "Benny la scossa". Benny perse il suo block notes nel supermercato subito prima dell'esame finale e non lo passò. Non posso dire che fu bocciato per aver perso gli appunti; il lavoro dei dottorandi in fisica in quegli anni era fortemente competitivo e molti studenti non riuscivano a superare gli esami. Probabilmente, se mi fossi iscritto a fisica in quegli anni, ora non sarei uno scienziato.

Quando studiavo sociologia a Chicago ero uno studente mediocre; l'università si dimenticò di me per quarant'anni ed è per questo motivo che nel 1999 provai un immenso piacere nel ricevere la "Professional Achievement Citation of the University of Chicago" per il mio lavoro sulla meccanica dei fluidi.

Il clima intellettuale a Chicago in quegli anni era appassionante: si rifletteva e si discuteva molto sulla società, sulla politica e sulla vita. Alcuni di noi erano molto interessati alla politica marxista, che influenzò molto la mia vita alcuni anni più tardi. Dopo aver conseguito il master in sociologia, con mia moglie ed un'altra coppia sposata andammo in Francia; partecipammo ai raduni comunisti, organizzammo gruppi di studio e imparammo un po' di francese. Questo viaggio fu parzialmente finanziato dal ricavato della vendita di libri. Eravamo riusciti a comprare dei titoli molto interessanti in occasione di una liquidazione totale di una libreria: tra gli altri titoli, ricordo *Le Isole Trobriand* di Malinowski, un classico di antropologia che riuscimmo a rivendere ad un ottimo prezzo e il classico fuori stampa *La rivoluzione tradita* di Leon Trotsky per cui i trotskyisti avrebbero dato qualsiasi cosa.

Tornammo negli Stati Uniti nel 1951, negli anni di McCarthy, con l'idea di radicalizzare la lotta operaia. Dopo aver trascorso un periodo a New York dove lavorai in fabbrica, ci spostammo a Berkeley, in California, dove cominciai due lavori. Uno era in un'orribile fabbrica e l'altro in un'officina meccanica. In quei giorni guidavo una piccola Studebaker che faceva molte miglia con un solo gallone di benzina ma faceva fatica sulle le colline di Berkeley. I miei colleghi, invece, guidavano grosse macchine con alettoni posteriori. Tutta quest'avventura ora sembra ridicola ma non lo sarebbe stata in un paese meno indulgente. Per alcuni anni mi sentii sempre più a disagio con il movimento radicale e fui sollevato quando lo abbandonai dopo che Krushev ebbe rivelato i crimini di Stalin.

Il passaggio all'ingegneria e alla scienza risale agli anni in cui lavoravo come macchinista apprendista, impiego che adoravo. Mi piaceva fare cose relativamente complicate con precisione. I macchinisti erano un buon gruppo di persone. Presso la scuola superiore locale, si tenevano delle lezioni per apprendisti ed io ero considerato una stella per la mia abilità nel fare semplici calcoli velocemente e con esattezza. Questa fu la prima volta in cui mi resi conto di avere qualche possibilità di intraprendere la carriera di ingegnere. Dopo il discorso di Krushev, mi iscrissi alla facoltà di Ingegneria Meccanica all'Illinois Institute of Technology (IIT) di Chicago. Non provavo più alcun interesse verso la sociologia e dovevo guadagnarmi da vivere. Tuttavia, non pensavo neanche lontanamente alla carriera accademica.

La fine degli anni '50 era il periodo dello "sputnik" e circolava molto denaro per mettersi alla pari con i russi. Io ero fortemente motivato negli studi perché ero più vecchio degli altri ed avevo la responsabilità di una famiglia. Andavo molto bene e raggiunsi un curriculum di studi quasi perfetto con il supporto finanziario di una generosa borsa di studio. A quel punto, mi trovavo su una strada che mi avrebbe portato inevitabilmente verso la carriera scientifica. All'IIT, studiai con professori di matematica applicata e fluidodinamica molto preparati. Devo dire che a quel tempo e per molti anni a venire, ebbi seri dubbi sulle mie capacità in queste materie. I miei professori volevano che conseguissi un dottorato in matematica applicata alla Brown University ma io rimasi all'IIT. Ottenni il dottorato nel 1962 e nel 1963 mi fu offerto un lavoro al dipartimento di meccanica della Minnesota University, dove sono tuttora.

La mia vita scientifica può essere divisa in periodi distinti. Nel primo periodo, concentrai la mia attenzione sulla teoria della stabilità e scrissi molti articoli di matematica applicata. Lavorai per sei anni al mio libro *Stability of Fluid Motions*: da questa esperienza ho imparato che, quando si scrive un libro, è buona cosa avere tutta la ricerca di cui si vuole parlare già disposizione e non cercare di farla durante la stesura del libro. Nel 1969 lavorai molto a questa pubblicazione, tuttora molto apprezzata, durante un anno sabbatico all'Università di Londra. I miei bambini dicevano che il papà scriveva di giorno e cancellava di notte. Non tutti i miei lavori di questo periodo furono di tipo teorico. Con Gordon Beavers ho scritto "Boundary conditions at a naturally permeable wall", un articolo sperimentale ispirato alla mia tesi di dottorato. Da questo articolo ne nacquero molti altri che sfruttarono la nuova condizione al contorno, incluso il penultimo articolo del famoso scienziato G.I. Taylor.

Nel successivo periodo, fui decisamente più orientato verso la matematica. Scrissi articoli sulle teorie matematiche delle biforcazioni, su una formulazione rigorosa della teoria delle perturbazioni delle soluzioni di equazioni differenziali alle derivate parziali con applicazioni ai problemi delle superfici libere nel campo della meccanica dei fluidi, sulla completezza e convergenza di serie bi-ortogonali, sul numero di soluzioni dell'equazione di diffusione non lineare guidata da sorgenti positive, sulla teoria delle onde termiche, ecc. Nel 1980 pubblicai un libro con G. Iooss sulla *Elementary Stability and Bifurcation Theory* che non è così elementare ma è più elementare rispetto a teorie simili. Fu molto divertente scrivere questo libro e introdurre l'argomento nell'ambito più semplice possibile, come la biforcazione e la stabilità delle curve piane.

Durante questo periodo cominciai a nutrire un certo interesse verso i flussi di fluidi viscoelastici. Questi fluidi sono molto interessanti perché danno origine a moti che sfidano l'intuizione. Quando un'asta viene fatta ruotare in un fluido ordinario, il fluido vicino all'asta affonda come avviene nel vortice di una vasca da bagno, ma un fluido viscoelastico salirà sull'asta fino ad arrivare anche ad altezze considerevoli. Un punto di vista contrario è in questo caso appropriato; se dessimo retta all'intuito, ci dovremmo aspettare un comportamento esattamente opposto a quello che ci si aspetterebbe da semplici fluidi come l'acqua e la glicerina. I fluidi viscoelastici si differenziano dagli altri perché la relazione tra sforzo e deformazione non è lineare e lo stato presente di sforzo dipende da come è avvenuta la deformazione. Ho lavorato ad una teoria matematica di questi fluidi, risolvendo importanti problemi come quello del fluido sull'asta e altri dove lo sforzo non lineare è importante. Ho mostrato che le onde di decadimento sono una conseguenza matematica della viscoelasticità e della memoria e ho inventato un metodo per misurare la velocità delle onde viscoelastiche e per dedurre il loro tempo di rilassamento. Questo lavoro è riassunto nel mio libro intitolato *Fluids Dynamics of Viscoelastic Fluids*. La motivazione per la mia elezione alla National Academy of Sciences nel 1990 recita: "...Joseph ha posto i fondamenti matematici dei fluidi viscoelastici. La sua cornice teorica e gli eleganti esperimenti hanno ispirato una generazione di scienziati".

Non si deve pensare che la vita nell'ambiente scientifico è sempre rose e fiori; i colleghi sono spesso aggressivi e la lotta per il riconoscimento del proprio lavoro è feroce. Si potrebbe affermare che il sistema di riconoscimento del lavoro funziona così bene in campo scientifico proprio perché gli scienziati non desiderano il successo dei colleghi. Quando iniziai la carriera scientifica, ebbi un grande mentore, che poi divenne un tormento, Clifford Truesdell, noto

come l'arbitro del buon gusto nel campo della meccanica del continuo. Prima scrisse che ero una delle più grandi menti del tempo e poi, negli anni '80, quando i miei interessi si spostarono maggiormente verso la sperimentazione e l'applicazione, cambiò idea. Fu spiacevole perché in un certo senso fui "declassato" dallo stesso gruppo, guidato da Truesdell, che mi aveva sostenuto in passato. La vita è beffarda e, per citare i Rolling Stones "a volte non ottieni ciò che vuoi ma ottieni ciò di cui hai bisogno". Successivamente, il mio lavoro fu riconosciuto da prestigiose università e molte società professionali mi insignirono di numerosi riconoscimenti.

Tra gli anni '80 e '90 il mio gruppo di ricerca ed io studiammo un progetto sulle condutture lubrificate e auto-lubrificate, un argomento molto concreto e con importanti applicazioni. L'idea è che se in una conduttura ci sono acqua e olio viscoso, l'olio andrà sulla parete e lubrificherà il flusso. Questo farebbe risparmiare molto sulla potenza di pompaggio. Il lato negativo è che si potrebbe accumulare troppo olio sulla parete, provocando un intasamento. Per prima cosa facemmo alcuni studi di stabilità per dimostrare che l'azione di lubrificazione dell'acqua sulla parete era stabile. Poi svolgemmo numerosi esperimenti che confermarono i calcoli di stabilità. Nei primi anni '90, fummo contattati dalla compagnia Syncrude Canada affinché valutassimo la lubrificazione dell'acqua per il trasporto di schiuma di bitume, in contrapposizione con il riscaldamento della schiuma e la diluizione con nafta. La schiuma di bitume è un'emulsione di acqua e olio davvero viscosa e stabile. Quest'olio è estratto dalle sabbie bituminose e la maggior parte della sabbia è eliminata tramite un processo che usa acqua calda, che poi rimane mescolata all'olio. La schiuma è troppo viscosa da pompare. L'acqua nell'emulsione è prodotta dalle sabbie bituminose; ad essa è aggiunta l'argilla sotto forma di nanoparticelle colloidali che, quando scorrono, rendono l'acqua color latte. Con un po' di fortuna, l'emulsione si "rompe" quando tocca le pareti della conduttura e forma uno strato lubrificante; noi lo chiamiamo auto-lubrificazione perché non c'è bisogno di aggiungere acqua. Ebbene, quest'acqua argillosa è eccezionale! Si attacca sull'olio ed evita che questo si incolli a se stesso, come quando spargiamo la farina sulla pasta sfoglia! Svolgemmo degli esperimenti per la *Syncrude* usando questa tecnica, cercando di ottenere qualche risultato eclatante. Trovammo un sistema che permise alla *Syncrude* di progettare una conduttura ad ottimo rapporto costo-beneficio, con un diametro di 36 pollici che però non abbiamo potuto testare. Oggi il funzionamento di questa conduttura ha un costo da sei a dieci volte maggiore rispetto a quello per il solo trasporto di acqua. Un grande risparmio.

Recentemente, abbiamo lavorato alla simulazione numerica diretta del moto delle particelle nei liquidi. Abbiamo sviluppato codici che ci hanno permesso di muovere direttamente e senza modelli le particelle che scorrono in liquidi melmosi, letti fluidi, ecc. Le simulazioni numeriche sono come gli esperimenti; sono esperimenti numerici che trattano dati per correlazione. Il metodo della correlazione è il modo di trasformare grosse quantità di dati in formule utili senza modelli ed è un modo abile di legare simulazioni numeriche a pratiche di ingegneria.

Al momento un argomento molto teorico sta suscitando il mio interesse: il flusso potenziale viscoso e viscoelastico. Il flusso potenziale è un tema vecchio di secoli ma tutti indicano che la viscosità del fluido è uguale a zero; lo chiamano flusso potenziale inviscido. Se si digita nel motore di ricerca Google "flusso potenziale" si troveranno oltre otto milioni di

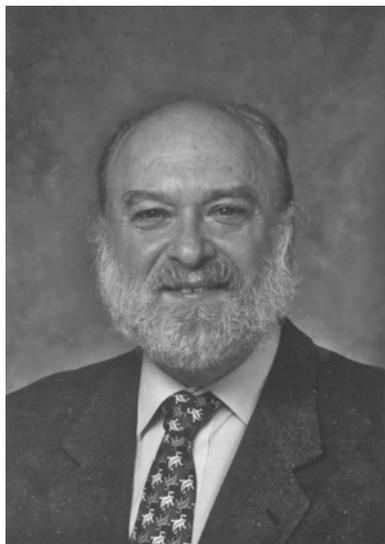
voci. Tutte queste, eccetto i venti articoli scritti da noi, non contengono viscosità. Non c'è fluido con viscosità zero, non c'è ragione di portare a zero la viscosità e non è utile farlo.

Nei miei 40 anni di ricerca ho avuto molti studenti straordinari a cui sono molto affezionato; tutto quello che abbiamo creato, non sarebbe stato possibile senza di loro. Penso che anche loro mi siano affezionati e che forniamo una famiglia accademica legata da reciproco rispetto e dal piacere della scoperta. È una gran bella vita.

## LA VERITÀ SCIENTIFICA

*Leo P. Kadanoff*

The University of Chicago, USA



© Cortesia di Leo P. Kadanoff

Quando ero giovane, mi sentivo attratto dalla matematica e dalla fisica in quanto, attraverso di esse, era possibile scoprire e descrivere la realtà delle cose. A differenza della confusione e della complessità del mio mondo di adolescente, enunciati quali “in un triangolo rettangolo, il quadrato di ‘c’ è uguale al quadrato di ‘a’ più il quadrato di ‘b’” erano veri e potevano essere verificati. Inoltre, chiunque può controllare se questa regola vale anche per altri tipi di triangoli. Questa certezza era per me molto affascinante e in un certo senso incredibile.

Più tardi, cominciai ad essere affascinato dalla possibilità di scoprire, attraverso la fisica, la verità sul mondo. Usando l’equazione di Schrödinger si possono avanzare affermazioni vere sull’atomo di idrogeno. La possibilità che l’uomo potesse scoprire qualcosa di indiscutibilmente vero, come una riga di emissione dell’idrogeno, e che potesse avanzare previsioni accurate, era di particolare fascino per la mia fantasia. Sognavo di dire cose al contempo vere e nuove. Nella

mia fantasia di adolescente, avrei scoperto qualche comportamento nascosto del mondo e sarebbe stata una scoperta solo mia.

Ora sono passati molti anni, e non sono più esattamente un adolescente. Sento che la mia vita di scienziato ha veramente appagato alcune fantasie di gioventù. Così, in un certo senso, sono lieto e soddisfatto dalla mia vita professionale, sia per quanto ho svolto in passato sia per quanto sto facendo oggi. Ho tuttavia anche allargato il mio modo di vedere. Ho capito che portare a termine nuove scoperte scientifiche e renderle note al pubblico fa sì che dedichiamo meno attenzione alle cose della vita che consideriamo meno importanti. Per noi è più facile scoprire cose reali piuttosto che capire la natura dell’amore, della giustizia, dell’umanità o della stessa Verità. Di conseguenza ora ritengo che quella parte di mondo che la scienza può analizzare non sia poi così grande. Ma rimango sicuramente legato all’idea secondo cui il valore della scienza sta nella possibilità di scoprire ed affermare cose la cui esattezza sia possibile verificare.

Da questo punto di vista, la scienza dovrebbe forse servire da esempio ad altri settori della vita. C’è troppa falsità nel mondo di oggi: basti pensare a quando un intero gruppo di persone vengono etichettate come “i cattivi”, quando un campo di estrazione petrolifera si esaurisce ma è comunque definito produttivo, o quando un’idea politica provinciale viene considerata

come fosse universale, o ancora quando le appropriazioni indebite vengono spacciate come “tutela degli interessi degli azionisti”. La scienza e gli scienziati in questo senso potrebbero servire da esempio di un campo nel quale simili falsità non sono né diffuse né premiate.

Ahimé, non è così. Anche in ambito scientifico esistono gli scandali, esattamente come negli altri settori. Quando diventiamo troppo ottimisti a proposito della fusione fredda, o della fusione calda, o pensiamo che sia necessario sviluppare una tecnologia per distruggere gli asteroidi, o discutiamo sui benefici pratici derivanti da grandi investimenti in settori impraticabili della scienza, allora ci comportiamo anche noi da egoisti. Fin quando rilasciamo dichiarazioni non credibili al fine di incrementare i fondi per la scienza, non possiamo lamentarci se il governo degli Stati Uniti userà i dati scientifici in modo errato, per tutelare i propri interessi. Fin quando continueremo a sottovalutare gli errori manageriali, che hanno coinvolto Batlogg, Bell Laboratories e Lucent con il lavoro fraudolento di Schon, non possiamo pretendere che il nostro mondo sia governato meglio, per esempio, della contabilità aziendale. E se noi scienziati non rappresentiamo la verità, chi lo farà?

## INCURSIONI NEL MONDO DELL'ASTRONOMIA, DELLA TECNOLOGIA E DELLO SPAZIO

---

*Krishnaswamy Kasturirangan*  
Member of Parliament (Rajya Sabha)  
Bangalore, India



© Cortesia di Krishnaswamy Kasturirangan

L'astronomia mi ha affascinato sin da quando negli anni '40, ancora bambino, abitavo nel piccolo villaggio di Ernakulam, nel Kerala, uno Stato dell'India meridionale. Ad Ernakulam non esistevano i lampioni, per cui durante la notte il villaggio era illuminato solo dalle stelle che brillavano in tutto il loro splendore, creando nella mia mente un senso di meraviglia ed ammirazione. È ancora vivo in me il ricordo della via lattea che si estendeva come una collana nei cieli notturni, uno spettacolo oggi difficilmente visibile in qualsiasi area urbana. Nacque così in me il desiderio di capire il significato di quei fenomeni e, quando partii da Ernakulam per recarmi a Mumbai dove avrei frequentato le

scuole superiori, morivo dalla voglia di capire i segreti che si celavano dietro quei cieli notturni. Grazie all'istruzione ricevuta alle superiori e all'inizio dell'università, sviluppai un grande interesse per la fisica e per la matematica; la fisica era sinonimo di piacere, il piacere di comprendere le cose che ci circondano e i principi che le regolano. Allo stesso modo, la matematica era un gioco meraviglioso, con una serie di regole ben precise; non c'era il rischio di annoiarsi a risolvere problemi. Conseguii il master in fisica presso l'Università di Bombay, ma il mio interesse per l'astronomia non venne mai meno in tutti quegli anni e fu rafforzato da una migliore comprensione della fisica.

Più o meno in quel periodo, venni a sapere della possibilità di lavorare con il dott. Vikram Sarabhai, un noto fisico del campo dei raggi cosmici che stava creando un gruppo di ricerca in astronomia presso il Physical Research Laboratory (PRL) ad Ahmedabad, un centro piuttosto conosciuto nel campo della ricerca dei raggi cosmici e della fisica atmosferica. Una volta espresso il mio interesse per questa possibilità, il dott. Vikram Sarabhai volle subito parlarmi e ancora ricordo come cercò di valutare il mio interesse. Dal punto di vista accademico, mi pose diverse domande di fisica di base e avanzata, alcune piuttosto semplici, ma altre più complicate e preoccupanti, sempre dal punto di vista accademico, naturalmente. Volle poi sincerarsi ancora della mia determinazione nei confronti della ricerca, sottolineando la necessità di disciplina e di duro lavoro, il magro stipendio e, soprattutto, l'incertezza di un argomento di ricerca per il conseguimento del dottorato. Io replicai avanzando diverse

argomentazioni in difesa del mio interesse e della mia convinzione di intraprendere la strada della ricerca. Infine mi illustrò la sua ambizione nel voler fare dell'India uno Stato pioniere nella costruzione e nel lancio di veicoli nello spazio e, probabilmente, con queste parole voleva dirmi che, nel lungo termine, vedeva un ruolo per me in quella sua missione. Acconsenti a che io mi occupassi dell'astronomia a raggi X, un campo nato appena un anno prima, ossia a partire dalla scoperta della prima stella che emettesse raggi X nella costellazione dello Scorpione.

Il dott. Sarabhai adottò un metodo tutto particolare di iniziarmi alla carriera scientifica e di insegnarmi a diventare un fisico sperimentale: mi fece tagliare lastre di metallo, costruire telai, progettare semplici alimentatori di corrente, soffiare il vetro, progettare sistemi di vuoto per la preparazione dei contatori di Geiger Muller, progettare circuiti elettronici ed infine costruire la strumentazione trasportata da palloni per la rilevazione dei raggi cosmici. Insomma, mi fece fare un'incredibile esperienza con le cose più disparate per circa due anni. Inoltre, dovetti studiare nel dettaglio i molteplici aspetti della fisica: la natura delle particelle, la propagazione e l'interazione della radiazione elettromagnetica nell'atmosfera e nel mezzo interstellare, le particelle cariche in movimento in varie configurazioni di campi magnetici, la nucleosintesi nelle esplosioni stellari, la teoria delle scariche del gas, il trasferimento radiativo nelle atmosfere stellari, la produzione di raggi X sotto condizioni estreme di temperatura, pressione e campo magnetico, e così via. Guardando indietro, credo che siano stati due anni straordinari come non ce ne sarebbero più stati nei successivi trent'anni di carriera accademica e professionale. I tre anni successivi, li dedicai allo sviluppo di un telescopio a raggi X per misurare lo spettro dei raggi X cosmici e condurre una delle prime misurazioni nel campo della media energia con dei palloni: fu quest'ultima una fonte di grande emozione e soddisfazione. L'importanza scientifica di questo studio sta nel fatto che si ritiene che la radiazione di raggi X cosmici derivi dalla sovrapposizione di radiazioni emesse da un vario numero di sorgenti; esiste anche la possibilità, di importanza fondamentale per la cosmologia, che tale radiazione derivi da una radiazione non termica risultante dalla collisione tra elettroni relativistici e la radiazione primordiale del big bang e, quindi, di importanza fondamentale per la cosmologia.

In quegli anni, noi studenti di dottorato in astronomia, fisica atmosferica e raggi cosmici spesso discutevamo delle nostre ricerche e dei nuovi sviluppi scientifici. Durante una di queste discussioni, avanzai la possibilità di rilevare l'effetto della Scox-1, la sorgente di raggi X appena scoperta, attraverso gli effetti di ionizzazione nella regione ionosferica D dell'atmosfera ad un'altitudine tra i 50 e gli 80 Km. Questo si basava su un calcolo di ordine di grandezza dell'importanza relativa vicino alla terra dell'energia irraggiata dal Sole e da Scox-1. In media il Sole emette raggi X, nell'intervallo di frequenza fra i 2 e i 10 KeV, la cui potenza superficiale ricevuta sulla terra è di  $10^{-4}$  erg/(cm<sup>2</sup> sec.). La ionizzazione prodotta nella parte inferiore della regione D della ionosfera era stata misurata al PRL registrando l'intensità di campo della trasmissione a 164 KHz fra Taskent e Ahmedabad nel modo a singola riflessione. Dall'intensità del campo misurata si può risalire al livello di ionizzazione. Il monitoraggio continuo permise di studiare la variabilità dei raggi X solari in funzione dell'attività del Sole. Poiché i raggi X della Scox-1 equivalgono a  $10^{-6}$  erg/(cm<sup>2</sup> sec.) nella regione D, mi chiesi se durante la notte, nella stagione in cui Scox-1 transita nella regione di riflessione dei 164 KHz, si potessero rilevare i suoi effetti. Durante il giorno gli effetti di

Scsx-1 verrebbero mascherati dai raggi X solari, più intensi per due ordini di grandezza. Evviva! L'analisi delle registrazioni dimostrarono la chiara presenza degli effetti della Scsx-1. La sua origine ambigua fu doppiamente confermata dall'esistenza dell'effetto siderale. Questa si dimostrò una scoperta veramente significativa, se si considera che fino a quel momento non si conosceva alcun effetto extra solare nell'atmosfera la cui influenza potesse essere misurata direttamente. La notizia si diffuse rapidamente e la scoperta fu confermata da molti ed un gruppo di ricerca trovò in questo effetto una spiegazione per il famoso enigma dell'interferenza nel sistema di navigazione Loran. A mio avviso, si trattava di un esempio eccellente del potere della ricerca interdisciplinare e PRL era il posto migliore per intraprendere questo tipo di lavoro.

Fu ancora una volta il dottor Sarabhai ad introdurmi nel mondo della tecnologia spaziale, in particolare la tecnologia satellitare, con un ragionamento ineccepibile. Secondo lui, i miei studi di fisica, la mia familiarità con le tecniche sperimentali combinate con il mio interesse nel cercare dei punti di incontro tra varie discipline, avrebbero fatto di me un eccezionale specialista di sistemi. Questo aspetto non era molto apprezzato all'inizio degli anni '70, ma lo sarebbe stato nel momento in cui i sistemi multidisciplinari complessi dovettero essere realizzati alcuni anni dopo.

Ancora una volta la sua idea si dimostrò profetica! Diventare uno specialista di sistemi mi aiutò a svolgere un ruolo molto speciale nella progettazione e nello sviluppo del primo satellite indiano "Aryabhata". Grazie alla mia preparazione quale specialista di sistemi, fui in grado di dirigere la costruzione dei primi due satelliti sperimentali indiani per l'osservazione terrestre "Bhaskara I e II", ed in seguito dirigere il gruppo che realizzò il primo satellite di livello mondiale della serie di satelliti indiani IRS (Indian Remote Sensing Satellites), dedicati al Telerilevamento.

Per illustrare l'importanza di essere uno specialista dei sistemi, vorrei citare un esempio del legame tra scienza, tecnologia e capacità manageriali nella soluzione di un problema nello Spazio. Quando lanciammo una telecamera a bordo del Bhaskara-I per riprendere la terra, facemmo fronte a dei seri problemi di disturbi elettrici nel satellite al momento di accendere la telecamera che era stata tenuta spenta per alcuni giorni in orbita. Le simulazioni fatte a terra, in cui testammo una telecamera simile in una camera a vuoto per riprodurre gli stessi effetti, ci portò subito alla conclusione che ci potesse essere stata una scarica elettrica fra un punto ad alto potenziale elettrico ed il piano messo a terra, avvenuta nel gas intrappolato. In seguito, il problema si ripresentò solo dopo che lo strumento era rimasto nella camera a vuoto per alcuni giorni, indicando la possibilità che il gas potesse infiltrarsi lentamente, arrivando così ad un regime di pressione tale da poter dar luogo alla scarica elettrica. Ci dedicammo ad effettuare tutta una serie di misure sperimentali per capire le caratteristiche della scarica nel gas, variando l'intervallo sia del potenziale applicato che della pressione del gas. Con queste misure fummo in grado di determinare esattamente la pressione alla quale avveniva la scarica. Con curiosità osservammo che questo problema non si ripresentò più quando la pressione raggiunse un determinato valore minimo. Grazie a questi esperimenti di laboratorio sulla scarica nel gas, insieme all'analisi del comportamento anomalo dello strumento nel vuoto, facemmo delle interessanti proiezioni sul futuro comportamento di quest'anomalia in orbita. Il risultato senza dubbio più interessante fu che riuscimmo approssimativamente a stimare la quantità di fuoriuscita di gas per i mesi successivi in orbita che poteva portare la pressione ad

un livello tale da porre fine alla fuoriuscita stessa, come dimostrato negli esperimenti di laboratorio. Ne avemmo la dimostrazione quando, in mezzo allo stupore generale, la telecamera si accese e ci regalò magnifiche immagini della terra, dopo sei mesi in cui aveva vagato, spenta, nello spazio. Questo episodio è un esempio eccellente di come vada guidata una squadra e di come condurre un lavoro di tipo multidisciplinare. Il problema richiedeva, per la sua soluzione, che si ricorresse a tecniche di simulazione associate ad una buona dose di nozioni di fisica, che si comprendesse la tecnologia di fabbricazione, che si risolvessero problemi di incompatibilità materiale in condizioni di vuoto termico e, soprattutto, che si fosse dotati di molto molto “buon senso scientifico”.

Questa conoscenza multidisciplinare e il rigore scientifico mi accompagnarono anche durante gli ultimi dieci anni della mia carriera, quando cioè mi fu affidato il compito di guidare tutto il programma spaziale indiano. In questo periodo, l'India ribadì con decisione di essere tra quelle cinque o sei nazioni pioniere nella costruzione e nel lancio di veicoli nello spazio. Ebbi la soddisfazione di supervisionare un programma spaziale, dove la scienza, le applicazioni e la tecnologia insieme contribuirono alla nascita di un nuovo settore, quello spaziale, così direttamente legato allo sviluppo nazionale. Si trattava di un programma unico a livello internazionale.

Anche negli anni frenetici dei sistemi spaziali mi tenni al corrente degli sviluppi dell'astronomia. Mi capitò di leggere un articolo di Philip Morrison e colleghi del MIT appena uscito su *Nature* circa la possibilità teorica, sulla base di considerazioni fisiche, chimiche ed evoluzionistiche che esista una struttura permanente a forma di anello costituito da particelle attorno al Sole. Approfittammo dell'eclissi solare del 16 febbraio 1980 e, con un fotometro a scansione a raggi infrarossi costruito rapidamente, lo cercammo fino a circa 5 raggi solari. Per quanto non avessimo trovato alcuna evidenza indiscutibile dell'esistenza di questo anello di particelle, questo esperimento ci permise di dare dei limiti sul modello del MIT. Mantenere alto il livello di interesse nella ricerca, a mio avviso, era un imperativo intellettuale e allo stesso tempo questo atteggiamento mi aiutò a tenere continuamente in allenamento il pensiero critico e l'analisi profonda, una necessità basilare per chi occupa posizioni di responsabilità.

I programmi spaziali possono avere successo solo se sono condotti da una squadra ben fornita di scienziati, tecnologi ed ingegneri dedicati e competenti. Chiunque voglia essere a capo di una squadra di professionisti del genere, deve innanzi tutto guadagnarsi il loro rispetto. Può sembrare arduo, ma non è impossibile.

È proprio in questo aspetto che, a mio avviso, si rivela vincente la strategia del dott. Sarabhai di formare un individuo all'inizio della carriera. Un forte orientamento nella ricerca fondamentale e di base all'inizio della carriera favorisce la capacità di pensare in modo diverso e di essere innovativi. Dal mio punto di vista, una ricerca che si basi sulla matematica e sulle scienze fondamentali può rafforzare considerevolmente la capacità di percepire tutti gli elementi di un sistema complesso, di comprenderlo e di vedere anche i legami non evidenti tra i vari elementi del sistema stesso. È interessante notare che anche stili innovativi di gestione possono essere ricondotti a queste menti creative. Inoltre, “sporcarsi” le mani con gli esperimenti impartisce una grande fiducia nel valutare da soli complesse questioni tecniche, nel ristudiarle e nel mettere in discussione il giudizio altrui; credo che ciò sia indispensabile

per essere rispettati dal punto di vista professionale oltre che per rendere il sistema più affidabile.

Oggi si parla tanto della diminuzione d'interesse nei confronti delle scienze di base; ebbene, non è solo la ricerca di base ad essere in pericolo, ma anche quei pochi leader di alto livello che operano in campo scientifico e tecnologico. Il ruolo della scienza e della tecnologia a favore dello sviluppo socio-economico può essere seriamente compromesso dalla mancanza di leader lungimiranti che possano influenzare il corso della ricerca scientifica e dello sviluppo tecnologico sia a livello politico che a livello esecutivo. Naturalmente, questo è un problema cruciale particolarmente per i Paesi in Via di Sviluppo.

## LA RICERCA SCIENTIFICA È LA CHIAVE DELLA SOPRAVVIVENZA UMANA

*Vladimir I. Keilis-Borok*

University of California  
Los Angeles, USA



© Cortesia dell'Annual Review of Earth and Planetary Sciences

### ***Se sei così intelligente, perché sei così povero?***

*/Detto popolare/*

Per quale motivo ci sono ancora delle persone che decidono di diventare scienziati, nonostante gli uomini d'affari, gli avvocati e i medici percepiscano stipendi molto più alti?

Un famoso scrittore russo, L. Tolstoy, una volta scrisse che uno scrittore non è semplicemente una persona che scrive; uno scrittore è una persona che non riesce a vivere senza scrivere. Lo stesso, credo, vale per lo scienziato. La scienza è un'avventura emozionante in cui la più grande ricompensa è la scoperta in sé. Libertà, amicizia, indipendenza sono ciò che si riceve, invece del denaro. Riconoscimenti e promozioni dipendono direttamente dall'individuo, più che in qualsiasi altra professione. E si proverà la travolgente emozione di svelare un altro mistero della natura.

### ***Comprensione immediata, efficienza di pensiero e d'azione e la bellissima sensazione di lavorare con persone con le stesse vedute ...***

*/F. Press/*

Era il 1960, l'apice della guerra fredda. Ero a Mosca e stavo svolgendo una ricerca sulla teoria delle onde sismiche, ossia scosse della terra prodotte dal terremoto. Ero assorto nel mio problema; mi piaceva la sfida matematica e non davo molto peso a come essa fosse connessa alla vita reale.

La convocazione giunse dal Presidente dell'Accademia Russa (all'epoca Sovietica) delle Scienze. Egli aveva ricevuto un messaggio dal Palazzo delle Nazioni a Ginevra, dove esperti tecnici dell'Unione Sovietica, degli Stati Uniti e del Regno Unito –tre potenze che possedevano armi nucleari- si erano incontrati in gran segreto. Il presidente mi mostrò una lettera da Ginevra: uno scienziato americano, Frank Press, aveva citato il mio lavoro mentre discuteva con degli esperti moscoviti. E con mia grande sorpresa mi ritrovai a Ginevra.

All'epoca, tutti gli uomini, le donne e i bambini del mondo vivevano sotto la minaccia della distruzione nucleare. Tutte le superpotenze erano provviste di bombe nucleari più che sufficienti a distruggere il nemico al primo colpo. Ma nei 20 minuti necessari ai razzi per

raggiungere il loro obiettivo, lo Stato nel mirino aveva tempo a sufficienza per contrattaccare e assicurare la distruzione dell'aggressore solo pochi minuti dopo la propria. Questa minaccia di "distruzione reciproca assicurata", dal tetro acronimo "MAD<sup>23</sup>", per alcuni anni fu il sottile filo che ci salvò da un fatale destino. Continuare i test nucleari significava sviluppare bombe sempre più forti e provocare uno squilibrio ancora maggiore nella resistenza nucleare globale. Le tre potenze nucleari volevano arrivare ad un accordo per bandire i test delle armi nucleari e gli esperti tecnici furono convocati appunto per risolvere il problema che ne era scaturito.

Formalmente, il problema era il seguente: *Supponiamo che: (i) le potenze nucleari firmino un accordo per interrompere i test delle nuove armi nucleari, e (ii) uno dei partecipanti violi questo accordo e segretamente esegua un'esplosione nucleare sotterranea. Il problema è: le altre potenze, come possono rilevare la violazione?*

Questo problema era direttamente collegato con la teoria delle onde sismiche. Sotto terra le esplosioni nucleari producevano scosse molto simili a quelle causate dai terremoti. Come si poteva distinguere una scossa naturale da una causata da un'esplosione? Improvvisamente, la mia conoscenza teorica poteva essere direttamente applicata a beneficio della sopravvivenza del genere umano.

Nell'atmosfera della Guerra Fredda, con tensioni politiche aleggianti, gli scienziati e gli ingegneri dell'Est e dell'Ovest dovevano trovare una soluzione che, considerate le nostre differenze culturali, apparentemente sembrava impossibile. Ciò che ci salvò fu una chiara e ovvia constatazione: eravamo tutti scienziati, capaci di elaborare un linguaggio comune basato sul rispetto di prove evidenti, su un sistema puramente meritocratico e su una costante autocritica. Riuscimmo così a trovare una soluzione che alla fine permise ai politici di raggiungere una delle più grandi decisioni di quel tempo: il bando dei test nucleari.

Questa esperienza mi ha insegnato che nel mondo esistono tante altre persone che pensano ed interagiscono come me e mi ha insegnato a non sentirmi solo all'estero. E, soprattutto, mi ha insegnato che finché ci sarà la scienza, ci sarà anche per tutti noi la speranza di sopravvivere e di vivere degnamente.

***"Se Napoleone fosse saggio come Spinoza, trascorrerebbe la sua vita in soffitta a scrivere un saggio di quattro volumi"***

*/A. France/*

Molti pensano che scienza e senso pratico non vadano molto d'accordo, e può capitare davvero che un grande matematico sia così preso dalla soluzione di un problema da uscire di casa con due scarpe diverse; ma guardando con attenzione, si scoprirà un altro aspetto che rende gli scienziati le persone più pratiche al mondo. Tutte le nuove tecnologie, tutti i nuovi marchi industriali, dalla difesa all'intrattenimento, sono frutto della ricerca di base. Gli antibiotici, l'elettronica, le biotecnologie, le fibre sintetiche, la rivoluzione ambientale, la diagnosi genetica in medicina legale, sono solo alcuni esempi. E al giorno d'oggi solo grazie alla ricerca potremmo trovare nuove fonti di energia, nuovi giacimenti minerari, efficienti difese antiterrorismo, cure per il cancro, nuovi mezzi di trasporto. Gli esperti di fisica teorica sono molto ricercati dalle istituzioni finanziarie; i ricercatori di nuove frontiere della biologia

<sup>23</sup> Mutual Assured Destruction (N.d.T.)

diventano fondatori e direttori di industrie farmaceutiche. Insomma, una conoscenza scientifica di base costituisce una marcia in più per qualsiasi carriera si voglia intraprendere.

***(Questi pericoli) “sono una minaccia per la sopravvivenza della civiltà, proprio come lo sono stati Hitler, Stalin, o la bomba atomica”***

*/J. Wiesner/*

È comunemente riconosciuto che la nostra civiltà è minacciata nella sua sopravvivenza sia da disastri naturali sia da quelli causati dall'uomo. Tra questi ci sono terremoti, megalopoli che si autodistruggono, catastrofi ambientali, crisi economiche e sociali. Oggi, un rilascio massiccio di radioattività dovuto allo smaltimento di scorie nucleari, un terremoto nel centro di una megalopoli, lo scoppio della violenza di massa o qualsiasi altro disastro globale, possono causare fino a un milione di vittime, rendere larga parte del mondo inabitabile, causare depressioni economiche globali, o una guerra in una regione “calda”. Pericoli così gravi continuano ad aumentare, sebbene ogni anno migliaia di miliardi di dollari vengano spesi per contenerli con tutte le tecniche conosciute.

La speranza e la responsabilità di sbloccare questa situazione di stallo non giacciono nelle risorse economiche ma in quelle intellettuali, nonostante i soldi siano più popolari, secondo un proverbio francese: “Nessuno è soddisfatto della propria ricchezza, tutti sono soddisfatti della propria saggezza.” Solo la ricerca di base può creare un trampolino di lancio per lo sviluppo di una nuova industria pronta ad affrontare i disastri.

***“Spetta a noi dibattere su argomenti non completamente compresi”***

*/McGeorge Bundy/*

La ricerca scientifica è un emozionante viaggio in un territorio ignoto e la chiave per la sopravvivenza del genere umano. Sono gli scienziati che, con i loro strumenti, possono cogliere la sfida e garantire a tutti noi un progresso sicuro.

Per concludere, vorrei ricordare che la scienza non è l'inizio e la fine. Per il genere umano e per ogni singolo individuo sono più importanti le qualità umane e la scienza, se usata umanamente, è un'indispensabile guardiana e custode di queste qualità.

## SCIENZA COME DIVERTIMENTO

*Joseph B. Keller*

Professor of Mathematics, Emeritus  
Stanford University, USA



© Cortesia di Joseph B. Keller

A volte mio padre dava a me e mio fratello problemi da risolvere. Ad esempio: un'oca incontra uno stormo di oche e dice: "Ciao, 100 oche!" Il capo dello stormo risponde: "Non siamo 100. Ma se fossimo il doppio di quanti siamo, più metà di questo numero, più te, saremmo 100." Da quante oche è composto lo stormo?

Mi piaceva la matematica e andavo bene sia alle elementari sia alle superiori. Scelsi quindi matematica all'università, ma dopo aver frequentato un corso di fisica al primo anno, decisi che mi sarei laureato in questa materia. Al tempo stesso continuai a studiare matematica e alla fine conseguii due lauree brevi.

I laboratori di fisica erano divertenti perché mi davano la possibilità di giocare con moltissimi apparecchi elettrici, con microscopi e lenti, con interferometri, eccetera. Ripetei il famoso esperimento della goccia d'olio di Millikan per misurare la carica di un elettrone. Imparai ad usare le macchine a raggi X e feci la fotografia di un blocco di legno dentro il quale era conficcata una pallottola. Con un amico,

rimettemmo in funzione una vecchia camera a nebbia e riuscimmo a vedere le tracce delle particelle alfa emesse da un pezzo di radio.

Fu molto interessante imparare la teoria che si celava dietro a questi esperimenti ed essere in grado di prevedere i risultati mediante calcolo matematico. Questo aspetto mi affascino particolarmente e da allora non ho mai smesso di occuparmene.

Dopo la laurea, durante la Seconda Guerra Mondiale, trovai un impiego statale; mi occupavo dei sonar e della rilevazione di sottomarini e, in particolare, di come calcolare la potenza del segnale sonoro del sonar diffuso di rimando da un sottomarino, o di capire come questi segnali acustici venivano riflessi e diffusi dalla superficie e dal fondo dell'oceano e assorbiti dall'acqua marina.

In seguito, scoprii che lo stesso genere di metodi matematici che avevo appreso per l'analisi dei sonar, potevano essere utilizzati per studiare tutti i tipi di onde. Quindi me ne servii per analizzare la propagazione delle onde radio, radar, onde luminose, onde di superficie nell'oceano, onde sismiche generate da terremoti o da esplosioni, e così via. Anche le

ampiezze di probabilità che regolano gli elettroni e i nuclei in fisica atomica sono onde e fui in grado di analizzare anche quelle.

Ebbi la fortuna di riuscire ad escogitare un nuovo metodo per calcolare il comportamento di tutti i tipi di onde. Si chiama Teoria Geometrica della Diffrazione, GTD (*Geometric Theory of Diffraction*) e include i raggi dell'ottica geometrica, nonché nuovi raggi diffratti da bordi di corpi, da angoli, da superfici lisce, e via dicendo. Oltre a dare valori quantitativi, illustra chiaramente come viaggiano le onde dal punto di vista fisico.

Applicando idee di questo tipo alla meccanica quantistica, riuscii perfezionare un metodo per calcolare i vari livelli di energia, ora chiamato metodo EBK che utilizza i risultati di Einstein e Brillouin.

Durante tutta la mia vita mi sono divertito ad imparare nuove cose e a risolvere problemi: sul flusso sanguigno, sulla propagazione degli impulsi nervosi, sullo sviluppo del cervello, sul movimento dei fluidi, sulla corsa, sul sollevamento pesi, sul prezzo di un'opzione, sulla teoria delle code ...

---

 UN NOSTRO GRANDE CONTEMPORANEO<sup>24</sup>


---

*Isaak M. Khalatnikov*

Landau Institute  
Moscow, Russia



© Cortesia di Isaak M. Khalatnikov

Nel 1968 a Trieste si tenne la cerimonia d'inaugurazione del nuovo edificio del *Centro Internazionale di Fisica Teorica*, fondato dal fisico pakistano Abdus Salam, professore dell'Imperial College di Londra che qualche anno dopo sarebbe stato insignito del Premio Nobel per la Fisica. Il Centro di Fisica Teorica di Trieste è ora ben noto ed ha ospitato i più insigni fisici teorici del mondo. Esso fu fondato nel 1964, in concomitanza con il *Landau Institute for Theoretical Physics*. Non si trattò di una mera coincidenza, ma era il risultato di un processo naturale connesso con gli straordinari traguardi raggiunti dalla fisica teorica degli anni '50: l'elettrodinamica quantistica e la teoria della superconduttività. Secondo Abdus Salam, l'obiettivo primario dell'ICTP doveva essere lo sviluppo della fisica teorica nel terzo mondo (Asia, Africa ed America Latina). Nonostante il centro fosse stato creato sotto l'egida dell'AIEA di Vienna, un buon 80% dei suoi fondi venne generosamente fornito dal Governo Italiano. Paolo Budinich, vice di Salam,

ebbe un ruolo di rilievo nel reperire questi fondi ed indubbiamente la scelta del fisico italiano fu una delle decisioni più felici di Salam. In occasione dell'inaugurazione del Centro, fu tenuta una grandissima conferenza internazionale di fisica teorica (caratteristica, quella di lavorare su grande scala, dell'intero operato di Salam). Fu invitata più di una dozzina di premi Nobel, e nella lista dei partecipanti figuravano personalità della fisica tra le più rinomate. L'Accademia delle Scienze dell'URSS mi chiese, in quanto direttore del Landau Institute, di suggerire i nomi di quella che sarebbe stata la delegazione russa. Ecco dunque la lista dei teorici che presero parte a questa conferenza di indubbia portata storica: Fock, V.L. Ginzburg, A.A. Abrikosov, E.M. Lifshitz, L.D. Faddeev, E.S. Fradkin ed io, tutti fisici che erano o sarebbero diventati membri dell'Accademia delle Scienze dell'URSS. Inoltre vennero invitati due fisici sperimentali dell'Università di Mosca, entrambi scienziati con una solida reputazione, i cui ambiti di ricerca non avevano però immediata pertinenza con il tema della conferenza. Furono inclusi con la mia esplicita approvazione, per raggiungere quello che si potrebbe definire un "equilibrio di forze". Secondo i parametri burocratici dell'Accademia delle Scienze, infatti, una delegazione per una conferenza all'infuori dell'Unione Sovietica

---

<sup>24</sup> Leggermente modificata, la versione originale di questo articolo è apparsa sulla rivista "Priroda", nel 1996.

composta di soli fisici teorici poteva essere fonte d'imbarazzo: perché i teorici dovevano essere preposti agli sperimentali?

Credo che quella fu la prima volta che una così corposa delegazione di fisici sperimentali e teorici sovietici visitò l'Occidente. Eppure i problemi non tardarono a manifestarsi: all'ultimo minuto apprendemmo infatti che a Ginzburg era di nuovo proibito lasciare il paese. Ad ogni modo, egli ci raggiunse a Trieste pochi giorni dopo l'inizio della conferenza grazie agli sforzi di Keldysh (Presidente dell'Accademia).

Di quell'esperienza mi è rimasto il ricordo di conversazioni di elevatissimo livello, discorsi di premi Nobel ogni sera, compresi quelli del grande P.A.M. Dirac, numerose cene ed escursioni. Durante uno di questi incontri tra amici organizzati da me ed Abrikosov, riuscimmo addirittura a far parlare Dirac, solitamente poco loquace. Per avviare la conversazione, Alyosha (Abrikosov) cominciò a raccontare le sue solite storielle "turistiche", fra cui quella in cui si ritrovò faccia a faccia con un orso mentre stava camminando, solo, in montagna. Dirac rimase così impressionato da questa storia che cominciò a fare domande e a parlare spontaneamente.

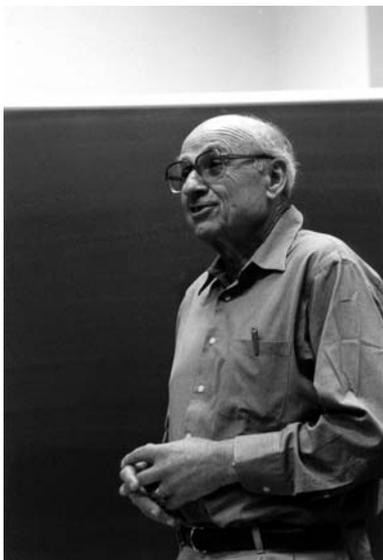
Noi quattro - Ginzburg, Abrikosov, Lifshitz ed io - prendemmo la macchina e andammo anche a Venezia e Firenze, e ritornammo a Trieste passando per San Marino. Tutto ciò fu organizzato dallo stesso Salam (oggi sembra ridicolo, ma non bisogna dimenticare che all'epoca ai russi non era permesso avere banconote di valute forti o viaggiare senza supervisione, cosicché anche noleggiare un'auto costituiva un problema). Dovemmo fermarci di più a Firenze per via di Lifshitz, che non riuscì a visitare Palazzo Pitti con noi. Essendo un appassionato di fotografia, fotografò ogni cosa ritenesse interessante. Mostrò poi con orgoglio quelle diapositive ai suoi amici, commentandole con la prontezza che gli era solita. Dal canto mio, ho l'impressione che un fotografo amatoriale sempre intento a fotografare guardi il mondo attraverso l'obiettivo e a volte si lasci sfuggire le cose più interessanti.

Nonostante il centro di Trieste sia nato principalmente per sostenere lo sviluppo della fisica teorica nel Terzo Mondo, esso ha ricoperto - perlomeno per un ventennio - il ruolo di Centro Internazionale in un senso molto più ampio. Ho avuto la fortuna di partecipare a numerose conferenze dedicate ai principali problemi della fisica teorica contemporanea, di essere il Direttore delle scuole di fisica della materia condensata, e di essere un membro del Consiglio Scientifico del Centro. Partecipare all'attività del Centro costituisce un capitolo speciale ed importante della mia carriera scientifica.

## APRIRSI UNA STRADA TRA LE AVVERSITÀ<sup>25</sup>

*Walter Kohn*

University of California, USA



© Archivio Fotografico ICTP

Sono nato nel 1923 a Vienna, da una famiglia ebrea di classe media, alcuni anni dopo la fine della Prima Guerra Mondiale che per l'Austria fu disastrosa. Entrambi i miei genitori nacquero in regioni dell'Impero Austro-Ungarico, mio padre a Hodonin, in Moravia, mia madre a Brody, a quel tempo in Polonia (nella regione della Galizia) e oggi in Ucraina. In seguito si trasferirono entrambi a Vienna con i loro genitori. Non ho ricordi dei miei nonni paterni, in quanto morirono relativamente giovani. Quelli materni, i Rappaport, erano ebrei ortodossi che vivevano una vita semplice da pensionati e, nel caso di mio nonno, una vita di preghiera e di studio di testi religiosi nella piccola sinagoga vicino casa, una *Schul*, com'era chiamata. Mio padre aveva una ditta che produceva principalmente cartoline raffiguranti opere d'arte famose, in particolare quadri di artisti contemporanei. La ditta conobbe un grande successo nei primi vent'anni del '900 ma, a causa della morte di un fratello di mio padre nella Prima Guerra Mondiale, del crollo della monarchia austriaca e della depressione

economica mondiale, i dieci anni successivi furono molto duri e per mio padre divenne sempre più difficile mantenere la ditta e sostenere la famiglia. Mia madre, che credo avesse terminato il liceo in Galizia, era una donna molto colta che conosceva bene il tedesco, il latino, il polacco e il francese e aveva qualche rudimento di greco, ebraico ed inglese. Attraverso i nonni materni, anche noi mantenemmo contatti con la comunità ebraica tradizionale. Al tempo stesso i miei genitori, soprattutto mio padre, partecipavano alla vita artistica ed intellettuale laica di Vienna.

Dopo che ebbi terminato la scuola elementare pubblica, mia madre mi iscrisse all'*Akademische Gymnasium*, un'ottima scuola superiore pubblica situata nel centro di Vienna, dove per quasi cinque anni ricevetti un'eccellente istruzione, basata soprattutto sull'apprendimento del latino e del greco. A quel tempo, il latino era la mia materia preferita, in quanto ne amavo la struttura e la sinteticità. Al contrario, la matematica non mi interessava (e apparentemente non ero nemmeno portato) poiché era insegnata in maniera molto blanda. Gli unici voti mediocri che ricevetti alle superiori furono proprio in matematica. Sapevo che

<sup>25</sup> Riprodotto, in questa versione abbreviata, su gentile concessione dell'autore, dal sito web della Nobel Foundation <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1998/kohn-autobio.html>

prima o poi mi sarebbe stato chiesto di sostituire mio padre a capo della ditta di famiglia, ma era una prospettiva a cui guardavo con rassegnazione e senza alcun entusiasmo.

Ma l'Anschluss<sup>26</sup> cambiò tutto: la ditta di famiglia fu confiscata e mio padre dovette continuare a gestirla senza ricevere alcun compenso; mia sorella riuscì ad emigrare in Inghilterra ed io fui espulso da scuola.

L'autunno seguente, potei iscrivermi ad una scuola ebraica, la Chajes Gymnasium, in cui ebbi due insegnanti straordinari: il dott. Emil Nohel, in fisica, e il dott. Victor Sabbath, in matematica. Entrambi ci trasmisero conoscenza e passione per le loro materie e desidero esprimere loro ancora una volta la mia profonda gratitudine per essere stati fonte di così tanta ispirazione. È ad entrambi loro, infatti, che devo il mio iniziale interesse per la scienza.

Con grande riconoscenza desidero ricordare che per ben due volte durante la Seconda Guerra Mondiale, dopo essermi separato dai miei genitori che non potevano lasciare l'Austria, fui ospitato da due meravigliose famiglie che non mi avevano mai visto prima. Charles e Eva Hauff nel Sussex, in Inghilterra, che ospitarono anche mia sorella maggiore, Minna. Charles lavorava nello stesso settore di mio padre ed infatti avevano rapporti d'affari. Qualche anno dopo, il dott. Bruno Mendel e sua moglie Hertha di Toronto, in Canada, accolsero me ed un amico, Joseph Eisinger, nella loro famiglia. Entrambe queste famiglie mi incoraggiarono fortemente negli studi, i primi all'East Grinstead County School nel Sussex e i secondi all'Università di Toronto. Non riesco a immaginare come avrei potuto diventare uno scienziato senza il loro aiuto.

Quando arrivai in Inghilterra, nell'agosto del 1939, tre settimane prima dello scoppio della Seconda Guerra Mondiale, volevo fare il contadino (avevo visto troppi intellettuali disoccupati negli anni '30) e cominciai a frequentare una fattoria nel Kent per imparare il mestiere. Dopo poco contrassi la meningite e divenni fisicamente molto debole; così, nel gennaio 1940, i miei genitori affidatari mi aiutarono ad iscrivermi all'East Grinstead County School dove, dopo un periodo di esitazione, mi concentrai sullo studio della matematica, fisica e chimica.

Tuttavia, nel maggio 1940, poco dopo il mio diciassettesimo compleanno, Churchill ordinò che quasi tutti gli *enemies alien* (ossia i titolari di passaporti di Paesi nemici, proprio come me) dovessero essere internati. Per due mesi girai diversi campi, persino sull'Isola di Man, dove la mia scuola mi spedì i libri che dovevo studiare e dove seguii le lezioni di matematica e fisica tenute da alcuni scienziati internati più maturi, ma il mio livello di comprensione non era molto alto.

Nel luglio del 1940, ci imbarcarono per il Quebec, in Canada, e da lì ad un altro campo a Trois Rivieres, che ospitava sia internati civili tedeschi sia profughi come me. Ancora una volta, potei seguire qualche lezione offerta dagli internati. La più interessante fu quella del dott. Fritz Rothberger sulla teoria degli insiemi, cui parteciparono due studenti. Il dott. Ruthberger, un viennese modesto e gentile, era un ex docente di corsi avanzati a Cambridge,

---

<sup>26</sup> Letteralmente *connessione, collegamento*; si riferisce, in senso strettamente politico, all'annessione dell'Austria alla "Grande Germania" nel 1938 (N.d.T.)

in Inghilterra. I suoi studenti assorbono gradualmente il suo amore per la profondità e la bellezza della matematica.

In seguito, mi trasferii in altri campi in Quebec e nel New Brunswick. Un altro internato, il dott. A Hecksecher, uno storico d'arte, organizzò una scuola per ragazzi come me che avevano dovuto interrompere gli studi e che si preparavano agli esami finali della scuola superiore canadese. Così, riuscii a superare gli esami di ammissione al corso base di matematica e quelli di matematica, fisica e chimica del corso avanzato della McGill University. A questo punto, diciottenne, ero ansioso di cominciare la mia carriera in fisica, con un forte interesse per la matematica.

Con gratitudine desidero sottolineare che il programma di istruzione offerto dal campo ricevette il sostegno della Croce Rossa Canadese e di filantropi ebrei canadesi. Inoltre, in molti campi, c'era data la possibilità di lavorare come taglialegna e guadagnare in questo modo 20 centesimi al giorno. Con questa principesca somma, preziosamente messa da parte, riuscii a comprare *Fisica Chimica* di Slater e *Matematica Pura* di Hardy che conservo ancora oggi. Nel 1942, fui dimesso dall'internamento e accolto dalla famiglia del prof. Bruno Mendel a Toronto. A questo punto, pensavo che mi sarei iscritto ad ingegneria piuttosto che a fisica, in modo tale da poter offrire sostegno economico ai miei genitori dopo la guerra. I Mendel mi presentarono il prof. Leopold Infeld, che si era trasferito a Toronto dopo aver lavorato per molti anni con Einstein. Dopo una lunga conversazione (una specie di esame orale) Infeld concluse che il mio vero amore era la fisica e mi consigliò di intraprendere un eccellente ma arduo corso di laurea in matematica e fisica, presso l'Università di Toronto. Aggiunse anche che questa laurea mi avrebbe permesso di guadagnare un buono stipendio, almeno quanto una in ingegneria.

A Toronto, ebbi la fortuna di seguire dei corsi eccellenti di matematica e di matematica applicata. Tra gli ottimi membri della facoltà, ho un ricordo molto vivo dell'algebrista Richard Brauer, del geometra non euclideo H.S.M. Coxeter, il sopraccitato Leopold Infeld, i professori di matematica applicata classica John Lighton Synge e Alexander Weinstein; questo gruppo era stato messo insieme in gran parte dal prof. Betty. In quegli anni, la squadra di studenti di matematica dell'Università di Toronto, che regolarmente partecipava alle gare contro le migliori istituzioni nordamericane, conseguì una vittoria schiacciante in occasione della competizione Putman (io non partecipai mai a queste gare). Anche il dipartimento di fisica annoverava professori eccellenti che per la maggior parte furono chiamati da John C. McLennan, uno dei primi fisici delle basse temperature che morì prima del mio arrivo. In particolare, ricordo H.L. Welsh specialista della tecnica Raman, il prof. M.F. Crawford di ottica e i fisici delle basse temperature H.G. Smith e A.D. Misener. Tra i miei compagni di corso, ricordo Arthur Schawlow che in seguito avrebbe condiviso il premio Nobel per lo sviluppo del laser.

Durante l'anno accademico (e anche durante un'estate o due), lavorai part-time per una piccola società canadese che produceva strumenti elettrici per aerei militari e qualche tempo dopo, per due estati consecutive, fui assunto da un geofisico per cercare dei depositi d'oro nel nord dell'Ontario e nel Quebec. Riuscii a trovarli!

Alla fine del penultimo anno di università, mi arruolai nell'esercito canadese. Grazie alle ottime lezioni di meccanica del prof. Weinstein, avevo imparato il moto delle trottole e dei

giroscopi e nel tempo libero, quando ero nell'esercito, cercavo di derivare nuovi limiti stringenti sulla precessione delle trottole simmetriche pesanti. Un articolo, "Contour Integration in the Theory of Spherical Pendulum and the Heavy Symmetrical Top" fu pubblicato sui Transactions of American Mathematical Society. Passato un anno dall'inizio del servizio militare, avendo terminato solo due anni e mezzo del programma di studi, conseguii una laurea breve (del tempo di guerra) "per servizio attivo" in matematica applicata.

Negli anni 1945-46, dopo essermi congedato dall'esercito, frequentai un corso intensivo per conseguire il master, che includeva alcuni corsi dell'ultimo anno di università che avevo perso, altri corsi più avanzati e una tesi che consisteva del mio lavoro sulle trottole e di un altro lavoro sullo scaling delle funzioni d'onda atomiche.

I miei professori mi consigliarono vivamente di non rimanere a Toronto per il dottorato, ma al tempo stesso era difficile ottenere un sostegno finanziario per continuare gli studi. Alla fine, ottenni una borsa di studio Lehman ad Harvard e ne fui elettrizzato. Leopold Infeld mi suggerì di provare a lavorare con Julian Schwinger che lui conosceva e che, non ancora trentenne, era già uno dei più importanti fisici teorici al mondo.

A confronto del semi-isolamento dell'Università di Toronto, la conosciutissima Harvard, con tutti quei professori e studenti di dottorato appena rientrati da brillanti esperienze di lavoro a Los Alamos, al Laboratorio sulle Radiazioni del MIT, ecc, mi trasmise una grandissima insicurezza tanto che decisi che il mio obiettivo sarebbe stato quello di sopravvivere per almeno un anno. Il capo del dipartimento, prof. J.H. Van Vleck, era molto cortese ed era solito chiamarmi il Kohn di Toronto, per distinguermi da un omonimo che, evidentemente, aveva causato qualche guaio. Un giorno mi parlò di un progetto sulla teoria delle bande nei solidi, conosciuta in seguito col nome di *quantum defect method*, e mi chiese se volevo lavorarci su. Gli chiesi un po' di tempo per pensarci e, quando tornai da lui alcuni giorni dopo, senza aver minimamente capito in cosa consistesse il suo progetto, lo ringraziai per l'opportunità ma gli spiegai che, sebbene ancora non sapessi quale settore della fisica avrei scelto per la tesi, ero tuttavia sicuro che non sarebbe stata la fisica dello stato solido. Il suo progetto divenne poi l'argomento di tesi di Thomas Kuhn (che sarebbe poi diventato un famoso filosofo della scienza) ma fu ulteriormente sviluppato da me e da altri scienziati. Benché avessi rifiutato l'offerta del prof. Van Vleck, la fisica dello stato solido diventò presto il fulcro della mia vita professionale e il prof. Van Vleck ed io diventammo ottimi amici.

Dopo il mio incontro con Van Vleck, mi presentai a Julien Schwinger e gli chiesi di essere ammesso nel suo gruppo di ricerca. Le sue ottime capacità di ricercatore e professore di corsi di studi avanzati (quali, ad esempio, quelli sulle guide d'onda e sulla fisica nucleare) suscitarono l'interesse di molti studenti, inclusi coloro che stavano riprendendo gli studi dopo aver lavorato durante la guerra a progetti militari.

Parlai brevemente al prof. Schwinger e gli dissi dei miei modesti sforzi sull'uso dei principi variazionali. Egli stesso aveva sviluppato, durante la guerra, degli ottimi principi variazionali per la funzione di Green, nel caso delle guide d'onda, in ottica e in fisica nucleare (poco tempo dopo, le funzioni di Green ricoprirono un ruolo importante per le ricerche in elettrodinamica quantistica che gli valsero il premio Nobel). Dopo soli pochi minuti di conversazione, diventai uno dei suoi 10 studenti di dottorato. Mi consigliò di provare a

sviluppare un metodo variazionale per la funzione di Green per problemi di diffusione a 3 corpi, come la diffusione neutroni-deuteroni a bassa energia, precisando comunque di non essere riuscito a risolverli. Circa sei mesi dopo avevo solo ottenuto risultati parziali e insoddisfacenti, così cominciai a cercare degli approcci alternativi fino a quando non trovai una formulazione alquanto elementare, che sarebbe stata conosciuta in seguito come il principio variazionale di Kohn per lo scattering, utile per problemi nucleari, atomici e molecolari. Poiché ero riuscito ad aggirare le funzioni di Green tanto amate da Schwinger, questi sembrava un po' deluso ma, ciononostante, accettò la mia proposta di soluzione come argomento di tesi di dottorato nel 1948.

Guardando indietro, credo di essere stato molto fortunato ad aver svolto un piccolo ruolo nel grande palcoscenico del progresso scientifico e sono molto grato a tutti coloro (la mia famiglia, i genitori affidatari, gli insegnanti, i colleghi, gli studenti e collaboratori di tutte le età) che mi hanno dato l'opportunità di compiere questo interessante percorso.

---

**QUESTIONI DI RESPONSABILITÀ**


---

*Serge Lang*  
Yale University, USA



© Cortesia di Serge Lang

Katepalli Sreenivasan, che ha lavorato per diversi anni a Yale ed è oggi il direttore del Centro Internazionale di Fisica Teorica Abdus Salam di Trieste, mi ha chiesto di contribuire ad una raccolta di testimonianze che sarà pubblicata e distribuita nelle scuole superiori di tutto il mondo. Devo talmente tanto al prof. Sreenivasan per l'appoggio che ha dimostrato in passato, che non ho potuto rifiutarmi.

Da giovane non ero appassionato di matematica e i miei voti erano altalenanti. Mi iscrissi a Caltech quando avevo 16 anni, nel 1943. A quei tempi mi interessavano soprattutto gli studi umanistici e la musica. In matematica avevo B<sup>27</sup> e C, C in fisica, D in chimica e A in inglese, storia e nelle altre materie umanistiche. In analisi matematica finii per avere C (meritavo di più, ma il professore non volle cambiare il voto). Durante la guerra non c'erano vacanze estive, per cui mi laureai nel 1946. In seguito, fui chiamato nell'esercito e trascorsi circa un anno come soldato semplice nella sezione di intelligence del Vice Capo di Stato Maggiore, 88<sup>o</sup> Divisione; trascorsi la maggior parte di questo periodo a Trieste, per cui conosco quella parte del mondo. Dopo il congedo nel 1947, iniziai il dottorato in filosofia a Princeton. Ero stato ammesso grazie alle raccomandazioni dei miei professori di materie umanistiche di Caltech. Durante il secondo semestre, oltre a due corsi avanzati di filosofia, seguii due corsi di laurea in matematica (algebra lineare e analisi complessa), solo per curiosità. Riuscii a superare quei corsi senza problemi e ritornai a Princeton l'autunno successivo come studente di matematica. Seguii poi i corsi di dottorato e divenni quasi subito uno studente del professore che aveva tenuto il corso di algebra lineare, Emil Artin. Conseguii il dottorato nel 1951 sotto la sua guida, rimasi all'università per un anno, trascorsi un anno all'Institute for Advanced Study di Princeton, mi trasferii a Chicago per due anni dove lavorai come istruttore (o post-doc, per usare un termine moderno) e poi ebbi sempre posizioni permanenti, a partire dalla Columbia University, dove lavorai per 15 anni. Posso dire che nel 1956 ero già diventato un matematico affermato, con alcune idee ed articoli importanti.

---

<sup>27</sup> Nel sistema scolastico ed accademico americano, i voti sono espressi in lettere: A (eccellente), B (buono), C (discreto), D (scarso), E (con difficoltà), F (fallimento), I (incompleto).

Vorrei ricordare una conversazione che ho avuto con Artin dopo la mia tesi. Gli dissi “Bene, ho fatto la tesi, ho avuto un'idea ed ha funzionato. Ma in futuro cosa succederà quando non mi verranno in mente nuove idee, quando sarò bloccato, incapace di fare nuove scoperte matematiche?”. Lui rispose “Questo è il prezzo che devi pagare per essere un matematico.” Sono stato fortunato. Nonostante ci sia sempre il timore di non riuscire a fare matematica, ossia scoprire teoremi (o congetture), ho goduto di una produttività ininterrotta per tutto il resto della mia vita, ad eccezione di tre anni (dal 1966 al 1969) durante i quali partecipai al movimento di protesta negli Stati Uniti e non pubblicai articoli di ricerca.

La matematica pura non è una vera e propria scienza, che è caratterizzata dall'essere sperimentale, ossia compatibile con il mondo empirico. Le mie scoperte hanno la stessa caratteristica dell'arte: non è sicuro che troveranno un'applicazione. Inoltre, esse hanno una formulazione tecnica talmente sofisticata che è impossibile descriverle concretamente in un saggio indirizzato al grande pubblico, come nel nostro caso. Tuttavia e per fortuna, posso fornire ugualmente un esempio di bella e profonda matematica, la cui dimostrazione può essere comprensibile per gli studenti delle superiori: la dimostrazione di Noah Snyder del teorema di Mason-Stothers sui polinomi<sup>28</sup>. Snyder fece questa dimostrazione quando frequentava l'ultimo anno delle scuole superiori, nel 1998.

Se certe discipline hanno la pretesa di trovare applicazione nel mondo empirico, come le scienze socio-politiche, la fisica, la chimica, la biologia, l'ecologia, la medicina, l'ingegneria, ecc., è fondamentale che esse siano compatibili con i fatti. Altre attività umane non hanno una tale pretesa e ciò che producono ha semplicemente lo scopo di stimolarci, come ad esempio la poesia o la musica. La matematica può fare parte di entrambi i gruppi. Infatti i modelli matematici possono essere utili per rappresentare ciò che succede nel mondo empirico. Tuttavia, se gli studi vogliono descrivere il comportamento delle persone, o dei fotoni, degli elettroni, dei virus, delle droghe, ecc., per chiarezza occorre distinguere nettamente tra un fatto e un'ipotesi, un'opinione, una convinzione, una costruzione teorica, un modello, ed un buco in terra.

Diverse volte nella mia vita mi sono trovato a criticare dei lavori che si proclamano “scientifici”, ossia che affermano di essere empiricamente validi, quando in realtà sono falsi, o a volte pura spazzatura. (A questo proposito, consultare il mio libro *Challenges*, Springer Verlag, 1998) dove ho elencato casi di questo tipo e anche il libro *Scienza e Democrazia* (Liguori 2003), a cura di Mamone Capria. In particolare, l'ultima parte (pp. 429-540) riguarda me, o è scritta da me e riguarda il mantenimento degli standard accademici o scientifici. Gli articoli di questo libro sono tradotti in italiano (dunque, i triestini non avranno problemi!)<sup>29</sup>.

Si pongono questioni di responsabilità. Per esempio, quando i matematici insegnano analisi, oppure quando i biologi insegnano l'uso della modellistica matematica, fino a che punto gli insegnanti mettono in guardia gli studenti a non considerare la “modellistica

<sup>28</sup> “Noah Snyder, An alternate proof of Mason's theorem”, *Elemente der Math.* **55** (2000) pp. 93-94, online. Ho riassunto brevemente la teoria dei polinomi, che si conclude con quella dimostrazione in *Polynomials, a beautiful high school topic*, Springer Verlag, 2004. Cfr. anche *Math Talks for Undergraduates*, Springer Verlag, 1999.

<sup>29</sup> Per la versione in inglese, si veda in fondo al Vol. IV della raccolta dei miei lavori, pp. 457-470, Springer Verlag, 2000. Si vedano anche i miei tre articoli pubblicati su *Yale Scientific*, 1994, 1995, 1999, sull'esistenza di dati incompatibili con l'ortodossia dell'HIV/AIDS.

matematica” come vera scienza, dal momento che il modello non si poggia su basi empiriche, ma è proposto (se non addirittura accettato) a prescindere da una sua verifica empirica? Come si potrebbe documentare questo tipo di discussioni? Si dovrebbero mettere in guardia gli studenti e si dovrebbe parlare con chiarezza durante l’insegnamento dell’analisi matematica e della biologia? Cosa comporta sostenere o non sostenere durante le lezioni dei lavori rappresentanti la cosiddetta modellistica matematica che non sono supportati da basi empiriche? In una lezione di analisi matematica, possiamo, dobbiamo intraprendere una discussione su questo tipo di articoli e sottoporre all’attenzione della classe una documentazione che giustifichi le critiche? Cosa succederebbe se lo facessimo? Le resistenze di carattere sociale, accademico e pratico sono innumerevoli, e naturalmente molto forti.

Nei miei articoli e nel mio lavoro mirato al mantenimento degli standard scientifici ho spesso citato Feynman. Anche se si tenne lontano dalla mischia (si dimise dalla National Academy of Sciences nel 1969), in alcune circostanze si impegnò attivamente, come egli stesso racconta in alcune pubblicazioni<sup>30</sup>. Non si tratta di invocare la sua “autorità”, come una volta mi accusò di fare uno studente di Yale, nel portare Feynman ad esempio. Ma dobbiamo prendere delle decisioni, *de facto*, riguardo a cosa, quando, e come svolgere un ruolo attivo. La risposta è: riguardo a diversi argomenti, in diversi momenti, in diversi modi, sulla base di un generalizzato principio di relatività.

---

<sup>30</sup> Ecco le sue tre pubblicazioni: *Sta scherzando Mr. Feynman, Che t'importa di ciò che dice la gente?, La legge fisica*. Quest’ultimo contiene la migliore spiegazione dell’esperimento delle 2 fessure, che ammonisce riguardo al dire sciocchezze, incompatibili con fatti verificabili, in modi all’inizio forse non scontati, in un contesto per quanto possibile libero dalle emozioni umane.

## ESSERE APERTI AI PROBLEMI

*Peter D. Lax*

Courant University  
New York, USA



© Cortesia della NYU/foto L. Pellettieri

Molti matematici sono attratti dalla materia da loro prediletta da giovani -nel mio caso a 12 anni- e incominciano a studiarla già da adolescenti. Probabilmente ciò è dovuto, oltre ad una mente portata per i ragionamenti logici, al fatto che per capire e risolvere problemi matematici non è necessaria la comprensione di un contesto più ampio che può essere acquisita solo attraverso l'esperienza quotidiana. Per questa ragione molti matematici evitano i problemi matematici posti in una maniera non matematica. Io sono stato fortunato ad acquisire una più ampia visione della matematica, grazie ai miei istruttori e a qualche fortunata circostanza.

Sono nato in Ungheria dove la matematica ha una lunga e rispettata tradizione. Fui incoraggiato e seguito da vari matematici e pedagoghi, Paul Turan, Konig, Rose Peter e successivamente Paul Erdos. Nel 1941 la mia famiglia ed io scappammo in America per evitare l'eccidio nazista; io avevo 15 anni. A New York ebbi la fortuna di unirmi a Richard Courant ed al suo gruppo, con cui sono rimasto, ad eccezione di qualche importante parentesi. Una di queste fu al Los Alamos Laboratory, durante e dopo la seconda guerra mondiale. Fu lì che sotto l'influenza di von Neumann cominciai ad interessarmi alla scienza computazionale, il modo migliore di usare la matematica per la soluzione di problemi scientifici.

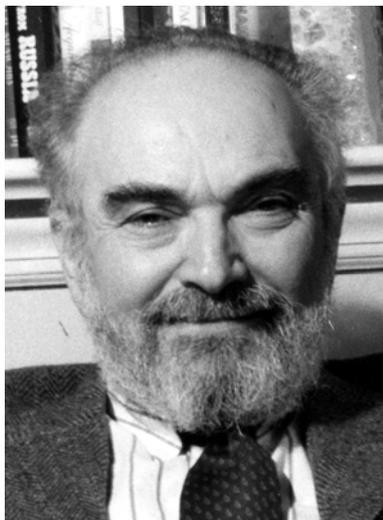
Ho lavorato a tanti problemi, alcuni applicati, altri puramente teorici. Molti di essi partivano dalla teoria delle equazioni differenziali alle derivate parziali, ma mi hanno spesso portato lontano da quell'ambito. Insegnare era parte integrante del mio lavoro; ogni volta che capivo bene qualcosa sentivo la necessità di spiegarla ad altri. Ho avuto più di cinquanta studenti di dottorato, e ho scritto libri riguardanti l'algebra lineare e l'analisi funzionale; li consiglio entrambi agli studenti di matematica.

Cosa consiglio ai giovani matematici in erba? Di essere aperti ai problemi, dovunque essi sorgano, e specialmente di prestare attenzione ai nuovi problemi che non aspettano altro che di essere risolti.

## SULLE ORIGINI MICROSCOPICHE DEI FENOMENI MACROSCOPICI

*Joel L. Lebowitz*

Departments of Mathematics and Physics, Rutgers University, USA



© Cortesia di Joel L. Lebowitz

La scienza è il tentativo umano di capire la natura del mondo in cui siamo nati. Questo bisogno di capire è guidato da esigenze pratiche così come da un'innata curiosità che, a prescindere dalla sua origine evolutiva e dalla sua utilità, va ben oltre l'utilitarismo. Perfino i bambini molto piccoli hanno questo stimolo di esplorare ed esaminare che, se si protrae fino all'età adulta, dà origine a tutta la creatività umana, inclusa quella scientifica, sia a livello teorico sia sperimentale.

Io appartengo alla comunità dei fisici teorici. Il mio interesse principale sta nello scoprire come le dinamiche delle componenti microscopiche della materia, come atomi e molecole, determinano il comportamento di oggetti macroscopici contenenti moltissimi atomi, oggetti che noi possiamo vedere e toccare, come un bicchiere d'acqua o un pezzo di metallo. Di questo si occupa la meccanica statistica, che fornisce il contesto matematico con cui descrivere quelle strutture o comportamenti di livello superiore, risultanti dalla casuale e indiretta attività di un vasto

numero di entità di livello inferiore che interagiscono tra loro. Per fortuna, molti aspetti del comportamento dei sistemi macroscopici –come l'ebollizione o il congelamento dell'acqua– possono essere compresi attraverso modelli semplificati della struttura e dell'interazione degli atomi. Si può prendere come punto di partenza la descrizione di Feynman degli atomi: “piccole particelle che si muovono in un moto perpetuo e che si attraggono quando si trovano a poca distanza le une dalle altre, ma che si respingono nel momento in cui vengono premute le une contro le altre”. (È incredibile che questa descrizione offra un quadro sia qualitativamente corretto sia altamente accurato, dato che la vera struttura degli atomi è regolata dalla meccanica quantistica ed è molto più complicata della grossolana descrizione di Feynman).

La meccanica statistica spiega l'origine dei fenomeni macroscopici nel comportamento cooperativo di queste “piccole particelle”. Alcuni di questi fenomeni sono semplicemente l'effetto delle azioni combinate di molti singoli atomi; per esempio, la pressione esercitata da un gas sulla parete del suo contenitore è dovuta al continuo bombardamento di moltissime molecole gassose sulle pareti stesse. Altri fenomeni, invece, sono esempi di un comportamento emergente e non hanno un diretto equivalente nelle proprietà o nelle dinamiche dei singoli atomi. Esempi particolarmente affascinanti ed importanti di questi

fenomeni emergenti sono (1) l'approccio irreversibile all'equilibrio e (2) le transizioni di fase nell'equilibrio. Entrambi questi fenomeni sono piuttosto noti, tuttavia restano alquanto sorprendenti. La loro comprensione ed analisi a livello microscopico formano il cuore della mia ricerca. Permettetemi di riassumerle brevemente.

Il problema dell'irreversibilità può essere enunciato come segue: la maggior parte dei processi che possiamo osservare durante il loro svolgimento nel mondo che ci circonda sono *unidirezionali* o *asimmetrici nel tempo*. La *freccia del tempo* si muove in una sola direzione: le verdure cotte non possono essere riportate allo stato crudo, le uova sbattute non possono essere nuovamente separate in tuorlo ed albume. Tuttavia, le leggi fondamentali della fisica hanno qualche difficoltà al momento di dover spiegare queste pur evidenti circostanze. Le leggi di Newton, la meccanica quantistica, l'elettromagnetismo, la teoria della gravità di Einstein, ecc., non distinguono fra passato e futuro –esse sono *simmetriche nel tempo* e completamente reversibili. Solo le leggi secondarie, quelle che descrivono il comportamento degli oggetti macroscopici contenenti molti, molti atomi, contengono esplicitamente un'asimmetria temporale.

Un primo esempio è la seconda legge della termodinamica, secondo la quale un sistema macroscopico isolato evolve in modo unidirezionale nel tempo verso l'equilibrio, uno stato caratterizzato dalla massimizzazione di una quantità chiamata *entropia*. (L'entropia di un sistema macroscopico è la misura del numero degli stati macroscopici in cui può trovarsi il sistema ad una data energia o temperatura; può quindi anche essere intesa come la misura del disordine, opportunamente definita). In linea di principio, si comprende bene perché e come tale comportamento macroscopico asimmetrico nel tempo nasca da dinamiche microscopiche completamente reversibili: esso è dovuto al fatto che l'universo si trova all'inizio in uno stato di bassissima entropia. Attualmente, stiamo cercando di derivare e risolvere equazioni che descrivono questi fenomeni a livello quantitativo.

Il secondo esempio di fenomeni emergenti, di cui si occupa maggiormente la meccanica statistica, è quello delle transizioni di fase nei sistemi in equilibrio, come accade nell'ebollizione o nel congelamento dell'acqua. In questo caso, piccoli cambiamenti di temperatura o di pressione provocano dei cambiamenti sensazionali nella struttura e nel comportamento dei sistemi macroscopici (ma la struttura dei singoli atomi o molecole che compongono il sistema rimangono invariati). Per esempio, il volume occupato da un chilogrammo di molecole d'acqua a pressione atmosferica cambia pochissimo quando la temperatura aumenta da 5°C a 95°C, ma cresce in maniera significativa quando la temperatura passa da 99.9999°C a 100.0001°C. Cambiamenti persino più sensazionali avvengono nella fase di congelamento, attorno agli 0°C, dove ci sono essenzialmente "infiniti" cambiamenti in alcune proprietà, come la fluidità. Per maggiori dettagli, consultare le voci 370, 383 e 434 nella lista di pubblicazioni sul mio sito web:

<http://www.math.rutgers.edu/~lebowitz> .

Invito anche a consultare la pagine sui Diritti Umani del mio sito web. Credo che gli scienziati abbiano specifiche responsabilità in questo campo. Nel mondo scientifico, le differenze di nazionalità, razza, religione, ecc. sono completamente irrilevanti, ma viceversa speciali e significative sono le capacità comuni a tutti gli individui, come ad esempio l'abilità

di comprendere molti aspetti del nostro universo. Questa mentalità scientifica dovrebbe perciò stimolare agli scienziati a lavorare sodo per un mondo sostenibile e giusto.

Copyright © ICTP

## SCIENZIATI COME ESPLORATORI

*Leon M. Lederman*

Fermi National Accelerator Laboratory, USA



© Cortesia di Ron Sherman

Il mio interesse per la scienza, se ricordo bene, è nato dalle letture di libri sugli scienziati. Molti di questi erano libri per ragazzi. Avevo 10 anni quando lessi un libro sui biologi intitolato “Cacciatori di Microbi” che raccontava di come gli scienziati avevano potuto dimostrare che le malattie erano causate dai germi. La cosa che ricordo meglio erano i complicati effetti di una determinata malattia e come, attraverso un lavoro accurato e delle buone “idee”, gli scienziati erano riusciti ad associare la malattia ad un microbo, un assassino che si può vedere attraverso il microscopio!

Per rendere poi la storia ancora più interessante, attraverso l'identificazione del colpevole era possibile curare persone ammalate e salvare molte vite. Questo era molto più divertente che essere un giocatore di baseball! Ricordo anche un altro libro, scritto da Albert Einstein, che paragonava la scienza ai racconti polizieschi. Una persona viene uccisa e ci sono molti indizi: un coltello insanguinato, un cane che abbaia e altre informazioni che sembrano non aver alcun nesso

tra loro, ma delle quali i detective (scienziati) accuratamente prendono nota. Alla fine, quando l'assassinio è risolto, tutti gli indizi, tutte le prove formano un unico puzzle.

Più avanti, alle superiori, scoprii che la scienza ha un'altra caratteristica incredibile: non solo può risolvere problemi riguardanti il mondo, ma ciascun “piccolo” problema risolto, aggiunto agli altri, permette agli uomini di capire il mondo: perché ci sono il giorno e la notte, come funziona il nostro sistema solare (Quando mi dissero che ero su un pianeta che ruotava a 1500 km/h, mi venne voglia di aggrapparmi a qualcosa!)

Gli astronomi ed i fisici riuscivano veramente a capire le stelle (ciascuna di esse era un sole con i suoi pianeti) e il modo in cui erano raggruppate in inimmaginabili giganteschi gruppi di miliardi di soli. Altri scienziati usavano microscopi giganti e potenti per studiare a fondo gli atomi e infatti cominciarono a capire il funzionamento della materia e dell'energia, proprio come i biologi, che tanto tempo prima avevano studiato i batteri.

Capii che essere parte di un gruppo di scienziati che esplorano il mondo, dal livello di un milionesimo di centimetro fino a 10 miliardi di anni luce, era la vita più emozionante che si potesse immaginare. Capii che gli scienziati erano esploratori, come Cristoforo Colombo o Vasco de Gama. A quei tempi gli oceani ed i continenti dell'Africa e dell'America erano

misteri sconosciuti. Oggi le cose sconosciute sono nei nostri corpi, nelle nostre menti e nelle sere d'inverno quando guardiamo le stelle e le galassie. E adesso ci sono così tanti misteri: come si sono formate le galassie, cos'è l'energia che muove tutto l'Universo? E come funziona la mente umana? C'è ancora così tanto da imparare! E gli scienziati vengono addirittura pagati per il loro lavoro!

## FISICA SIGNIFICA CONFRONTARE LA TEORIA CON L'ESPERIMENTO

*Anthony J. Leggett*

University of Illinois at Urbana-Champaign, USA



© Cortesia di Anthony J. Leggett

Il mio ingresso nel campo che in seguito sarebbe diventato quello in cui ho operato è stato assolutamente non ortodosso. Infatti, alle scuole superiori in Inghilterra, mi sono specializzato in lettere classiche (greco e latino) e non ho frequentato alcun corso scientifico. Tuttavia, dopo avere ottenuto una borsa di studio (in campo umanistico) all'università di Oxford, mi sono trovato ad avere due trimestri liberi. Un giorno, in quel periodo, un sacerdote in pensione che era stato professore di matematica all'università e che viveva nell'edificio della mia scuola, mi fermò nel corridoio; notando che sia lui che io avevamo parecchio tempo libero, si offrì di darmi un paio d'ore di lezioni private su temi di matematica moderna ogni settimana. A quel tempo, non pensavo minimamente che queste lezioni mi sarebbero tornate utili, ma scoprii con stupore che non solo ero capace di risolvere i problemi che il sacerdote mi assegnava, ma anche che mi divertivo abbastanza a risolverli. Quella prima esperienza fu, probabilmente, il punto di svolta nella mia carriera.

Il corso di laurea che seguii a Oxford era di quattro anni; per i primi cinque trimestri si studiavano lingue classiche e letteratura, e, negli ultimi sette, una sorta di miscela di storia greca e romana, e filosofia. La parte di filosofia riguardava principalmente il pensiero moderno; questo tema mi piacque molto ed ebbi ottimi risultati (così come in storia). Sembrava naturale continuare gli studi con un dottorato in filosofia e cercare poi di insegnare all'università. Tuttavia, quando, verso la conclusione del mio terzo anno, cominciai a pensare a questa prospettiva, mi resi conto in qualche modo che questo non era ciò che desideravo veramente dalla vita. D'altra parte, ero molto affascinato dalla prospettiva di intraprendere la carriera accademica. Iniziai quindi ad interrogarmi per capire esattamente ciò che non mi andava a genio nell'idea di intraprendere una carriera nel campo della filosofia. Alla fine mi resi conto che, almeno ad Oxford e in quel periodo, la qualità di un lavoro in campo filosofico dipendeva dalla moda del momento e dalle sfumature che si usavano nell'esprimersi; non sembravano esserci criteri obiettivi e precisi per valutare la validità di un lavoro. Io sentivo, fin dentro le ossa, che essere valutato e vagliato per quello che valevo era proprio quello che andavo cercando. Pensai per un attimo di passare alla matematica pura, ma allontanai subito il pensiero perché ritenevo che in questa disciplina, per la sua stessa natura, sbagliare significasse essere stupidi; volevo la possibilità di sbagliare senza essere considerato stupido e

la fisica sembrava offrirmi proprio quell'opportunità. Così feci la domanda di iscrizione per conseguire una seconda laurea breve in fisica e dopo alcune vicissitudini fui ammesso e iniziai la mia nuova carriera.

Non penso di essere stato deluso da questa scelta; nel corso degli ultimi 40 anni sono riuscito a formulare una serie di congetture non banali su vari aspetti del mondo fisico ed alcune di esse si sono rivelate e errate ma, spero, non stupide (sono quelle di cui non si sente parlare), mentre altre si sono rivelate corrette, almeno secondo gli esperimenti (ed in un caso hanno ottenuto un riconoscimento importante con l'assegnazione del Premio Nobel). Giuste o sbagliate, è proprio questo confronto tra le mie idee teoriche e gli esperimenti nel mondo fisico che trovo infinitamente emozionante e che mi fa continuare a lavorare nel campo della fisica; non mi sono mai pentito della scelta che ho fatto.

## CAMMINARE CON RESPONSABILITÀ

*Jean-Marie P. Lehn*

Laboratoire de chimie supramoléculaire  
Strasbourg, France



© Archivio fotografico ICTP

La scienza offre delle prospettive esaltanti per le nuove generazioni. Promette una comprensione molto più completa dell'universo, un potere creativo sempre maggiore delle scienze chimiche sulle strutture e sulle trasformazioni del mondo inanimato e di quello animato, una maggiore possibilità di controllo delle malattie, dell'invecchiamento e perfino dell'evoluzione della specie umana, una più profonda comprensione dei meccanismi del cervello, della natura della coscienza e dell'origine del pensiero.

Per cominciare, vorrei parlare brevemente del mio settore di attività, la chimica, e del perché ne sono così affascinato.

La chimica svolge *un ruolo centrale* nell'ambito delle scienze naturali e della conoscenza in generale, ma anche in ambito economico e nella nostra vita di tutti i giorni. È presente dappertutto e per questo motivo tende ad essere dimenticata e a passare inosservata. Non fa ostentazione di se stessa ma se non esistesse, alcuni traguardi che consideriamo spettacolari non sarebbero stati realizzati: le grandi

prestazioni terapeutiche, le imprese spaziali, le meraviglie della tecnologia ecc. Contribuisce a soddisfare le necessità dell'uomo: cibo e medicinali, indumenti e abitazioni, energia e materiali grezzi, trasporti e comunicazioni. Fornisce materiali alla fisica e all'industria, modelli e substrati alla biologia e alla medicina, proprietà e processi alla scienza e alla tecnologia.

Oltre ad esplorare le molecole della vita, la chimica è alla ricerca di quelle specie non naturali che possiedono determinate proprietà chimiche o fisiche. Al confine con la biologia e con la fisica, apre la porta all'immaginazione creativa dello scienziato.

*Come l'artista*, il chimico incide nella materia i prodotti dell'immaginazione creativa. La pietra, i suoni e le parole non contengono in se stessi le opere che lo scultore, il compositore, lo scrittore esprimono attraverso di essi. Allo stesso modo, il chimico crea molecole originali, nuovi materiali e nuove proprietà usando gli elementi forniti dalla natura.

Chimica vuol dire non solo scoprire, ma inventare *e soprattutto creare*. Il libro della chimica non deve essere letto, ma scritto! La colonna sonora della chimica non deve solo essere suonata, ma composta!

Al di là del progresso generale della conoscenza e dello sviluppo tecnologico, l'impatto più importante che la scienza può e deve avere sulla società è lo *spirito* da cui è animata, l'approccio scientifico e razionale al mondo, alla vita e alla società.

L'umanità è sempre a rischio di ideologie oppressive, dogmatismi, rigidi tradizionalismi, guerre e aggressioni. La scienza mostra la strada da seguire, attraverso il suo spirito internazionale, o meglio sopranazionale, in cui non esistono né confini né classi.

L'*educazione alla scienza* nelle nostre scuole, nelle università e a beneficio del pubblico in generale, deve essere una priorità in modo da:

- formare i ricercatori, gli scopritori e i creatori di domani;
- eliminare paure e rifiuti irrazionali;
- sviluppare lo spirito e l'atteggiamento scientifico e combattere ciò che è ignoto, ingannevole, irrazionale.

Un problema persistente e sempre più grave è l'inaccettabile *squilibrio nord-sud* per cui i paesi avanzati devono fornire una soluzione. Anche in questo caso il progresso scientifico è cruciale. È auspicabile che i progressi medici e tecnologici, come risultato della ricerca nei paesi sviluppati, possano fornire i mezzi per combattere le malattie e promuovere uno sviluppo sostenibile nei paesi meno avanzati.

La posizione degli scienziati nei riguardi dell'*etica e della società* è una questione molto attuale. Sono convinto che lo scienziato debba, in primo luogo, tener fede alla verità. La nozione di etica è relativa e le valutazioni etiche cambiano da un luogo all'altro, con il passare del tempo e con il progresso della conoscenza. La ricerca della conoscenza e della verità deve superare le considerazioni del momento sulla natura, la vita e il mondo, perché la nostra visione di oggi non può che essere ristretta e non abbiamo il diritto di spegnere i riflettori del futuro.

Queste prospettive per il futuro della scienza, per il *nostro* futuro, sono state già espresse in termini più appropriati dalla quintessenza dell'artista-scienziato, *Leonardo da Vinci*, quando scrisse:

“Laddove la natura cessa di produrre le proprie specie, lì comincia l'uomo, usando cose naturali, in armonia con la natura stessa, per creare un'infinità di specie.”

Il futuro della scienza e dell'umanità è nelle mani delle generazioni future: che possano cogliere la sfida. Prometeo ha conquistato il fuoco e noi non possiamo restituirlo. Dobbiamo percorrere con entusiasmo, determinazione e un profondo senso di responsabilità il sentiero che va dall'albero della conoscenza al controllo del destino.

## COME SONO STATA ATTRATTA DALLA SCIENZA

*Johanna M.H. Levelt Sengers*

National Institute of Standards and Technology, USA



© Cortesia di  
Johanna M.H. Levelt Sengers

I miei primi approcci con la fisica ebbero luogo durante la mia infanzia, in Olanda. Mio padre, che aveva un dottorato in chimica, gestiva il negozio di famiglia di caffè e tè e si era costruito un piccolo laboratorio chimico a casa. Mia madre, che aveva un master in fisica e astronomia, si sposò poco dopo la laurea ed ebbe dieci figli (io fui la prima), per cui non ebbe mai l'opportunità di lavorare nel campo scientifico prescelto. Mio padre amava parlarci di fisica durante la cena e spiegarci i moti dei pianeti, della Terra e della Luna, aiutandosi con mele e arance che trovava sul tavolo. Quando noi bambini cominciammo ad andare a scuola, non andava mai a letto prima di aver risolto i nostri problemi di matematica.

A dodici anni, i miei genitori mi iscrissero ad una scuola femminile dove frequentai un corso di studi propedeutico all'università. Oltre alle lingue classiche e moderne, storia e geografia, studiavamo anche molta fisica, chimica e biologia. La mia scuola aveva lo

stesso programma di studio delle scuole maschili e miste di tutto il Paese. Il mio primo incontro con la geometria avvenne al primo anno, fu amore a prima vista: una materia che non dovevo memorizzare, ma su cui potevo ragionare – fatti che non avevano bisogno di essere presi per veri, ma che potevano essere provati. Ebbi la fortuna di avere diversi insegnanti eccellenti ed estremamente qualificati nelle loro materie. Il mio insegnante preferito era quello di chimica, che mi fece innamorare della materia. Anche la fisica mi affascinava. Durante gli anni delle superiori, lessi parecchi libri di matematica, astronomia e relatività. Mio padre mi aiutò ad imparare l'analisi matematica, che non faceva parte del programma scolastico, e, sebbene in Olanda era idea comune che scienza e tecnologia fossero materie per maschi, nessuno tentò di farmi desistere.

Gli anni delle superiori coincisero con la Seconda Guerra Mondiale, quando il mio paese si trovò sotto l'occupazione tedesca. La scuola era il fulcro della mia vita, lì potevo dimenticare la miseria, immergendomi in argomenti che mi interessavano. Cosicché, quando superai trionfalmente l'esame finale, sostenuto dagli studenti di tutto il paese alla conclusione degli studi secondari, decisi di iscrivermi all'università. All'epoca, però, avevo sei fratelli e due sorelle minori ancora a casa e, per quanto nella nostra famiglia venisse data molta importanza

alla scienza, non sarebbe stato certo facile mantenere agli studi una figlia che avrebbe invece potuto essere d'aiuto in casa.

Feci quindi domanda per una borsa di studio statale, che riuscii ad ottenere. Ciò mi permise di pagare il trasporto giornaliero all'Università di Amsterdam e la retta universitaria. Continuai a vivere a casa e, per poter minimizzare la dipendenza finanziaria dai miei genitori, davo ripetizioni agli studenti delle scuole superiori durante i fine settimana. Qualche anno dopo, durante gli studi post laurea, iniziai ad insegnare fisica part-time in una scuola superiore.

Dal momento che non avevo forti preferenze, scelsi fisica e chimica come materie di studio principali per la laurea breve, per cui mi ritrovai a trascorrere la maggior parte del mio tempo in laboratorio. Il passaggio dalla scuola all'università non fu facile: eravamo in tanti e in genere i professori non possedevano grandi doti didattiche. Le lezioni di termodinamica del prof. Antonius Michels, che in seguito sarebbe diventato il mio relatore, facevano parte del corso di Fisica. Per quanto la trovassi molto difficile, la termodinamica, che si occupa dell'interazione tra materia, calore e forza, mi affascinava molto. Dopo aver conseguito la laurea, mi iscrissi al master e scelsi fisica come materia principale e chimica come materia secondaria.

Tra i miei nuovi professori ricordo Jan De Boer, un noto insegnante di meccanica statistica e meccanica quantistica. La meccanica statistica mette in relazione le proprietà di materiali di grosse dimensioni alle forze che operano tra le molecole. La meccanica quantistica si occupa del comportamento di sistemi molto piccoli che si manifestano sotto forma di onde. Eravamo circa tre o quattro donne su un totale di più di cinquanta studenti.

Eseguii il mio lavoro sperimentale al Laboratorio Van der Waals, guidato dal professor Michels. Misuravo le proprietà di fluidi contenuti in vasi d'acciaio dalle pareti spesse, a pressioni che raggiungevano le 1000 atmosfere e a temperature criogeniche. Dopo il master, l'argomento della mia tesi di dottorato divenne la misura delle proprietà dell'argon pressurizzato. Gas monoatomico non reattivo, l'argon ha un punto critico a 122°C al di sotto del punto di congelamento dell'acqua. A temperature inferiori, l'argon può trasformarsi in liquido, e nel mio vaso di acciaio c'era sia del gas che del liquido. I miei dati sull'argon diventarono la prova delle teorie statistico-meccaniche sull'interazione molecolare. Tutti i fluidi sono caratterizzati da punti critici: quello dell'acqua è a +374 °C, e quello dell'elio a -269 °C; ci sono punti critici anche nei magneti e punti critici sono previsti in molti modelli della meccanica statistica. I punti critici sarebbero poi stati al centro del mio lavoro negli anni che seguirono.

Conseguito il dottorato, lavorai come post-doc all'Università del Wisconsin per un anno. Dopo qualche altro anno al Laboratorio Van der Waals, sposai un mio collega ricercatore, Jan Sengers. Entrambi facemmo domanda di lavoro presso il National Bureau of Standards (NBS), che ora si chiama National Institute of Standards and Technology (NIST), dove fummo assunti verso la fine del 1963. Il NBS/NIST, che fa parte del Dipartimento del Commercio degli Stati Uniti, fornisce standard di misurazione e dati sulle proprietà dei materiali all'industria e alla scienza.

Durante i miei primi cinque anni al NIST, detti alla luce quattro figli, per ciascuno dei quali dovetti assentarmi per alcuni mesi dal lavoro. I miei superiori furono molto comprensivi e mi permisero di lavorare part-time fino a che il più giovane non ebbe nove anni. Mio marito iniziò a lavorare all'Università del Maryland nel 1968.

Quando mio marito ed io cominciammo a lavorare al NBS, il campo dei fenomeni critici stava cominciando a decollare. Dal momento che moltissimi sistemi hanno dei punti critici, si tratta di un campo fortemente interdisciplinare; fisici, chimici, matematici ed ingegneri studiano tutti diversi aspetti del punto critico. L'ipotesi era che molti di questi sistemi, tenuto conto delle variabili del caso, si comportassero allo stesso modo, cioè che esistesse un comportamento universale in prossimità dei punti critici.

I miei contributi più significativi nel settore riguardarono nell'area dei fluidi. I miei colleghi ed io testammo il comportamento dei fluidi vicino al punto critico e scoprimmo che era conforme alle cosiddette leggi di scala, la cui forma universale era stata allora prevista teoricamente. Applicai le nuove scoperte teoriche, grazie a cui Kenneth Wilson vinse il premio Nobel nel 1972, a fluidi di interesse per l'industria. Ad esempio l'etilene, punto di partenza per la fabbricazione di polimeri, ha un punto critico appena al di sotto della temperatura ambiente. Misurai le sue proprietà e scoprii che queste erano coerenti con le nuove teorie. In tutta la mia carriera ho lavorato sulle proprietà dell'acqua e del vapore, che sono di grande interesse per l'industria dell'energia elettrica. Fui io a dimostrare che le proprietà del vapore nei pressi del punto critico sono conformi alle leggi di scala.

In conclusione, il mio lavoro, frutto naturale dei miei primi interessi, ha creato un ponte tra nuove scoperte teoriche e le loro applicazioni nel campo dell'ingegneria. Mi ritengo molto fortunata ad aver potuto trovare una mia nicchia nel mondo della scienza e dell'ingegneria.

## ADORO I ROMPICAPI

*Simon A. Levin*

Princeton University, USA



© Cortesia di Denise Applewhite

Adoro i problemi di matematica. Questa materia mi ha incuriosito fin da quando ero bambino e a tutt'oggi mi piace cimentarmi con i problemi, spesso e volentieri inventati da me, durante il tempo libero. Se non li riesco a risolvere, li metto da parte e li ritiro fuori non appena posso. Più il problema riguarda la matematica di base, più mi diverto; ho sempre l'impressione che tramite questi problemi, io riesca a comprendere meglio le relazioni logiche che collegano ogni cosa.

Grazie a questo passatempo, a tutta la pratica che avevo fatto e ai problemi che avevo risolto, la matematica scolastica mi risultò piuttosto facile. Fu naturale quindi che mi iscrivessi alla facoltà di matematica (Johns Hopkins University) e intraprendessi in seguito gli studi post-laurea. Senza nemmeno accorgermene, mi ritrovai con un dottorato in matematica dall'Istituto per la Fluidodinamica e la Matematica Applicata dell'Università del Maryland,

ma non sapevo che farmene. Mi resi conto, quando già studiavo per il dottorato, che da matematico professionista avrei avuto poca soddisfazione, in quanto avrei dovuto risolvere problemi che poco avevano a che fare con il mondo reale. Al contrario, volevo risolvere problemi concreti che avrebbero reso più agevole alle persone la comprensione del mondo intorno a loro. Dopo il dottorato, andai a Berkeley per lavorare con George Dantzig, noto per l'invenzione del metodo del simplesso per risolvere problemi di programmazione lineare. Insieme, ci dedicammo al problema del trasporto attivo di sodio nelle membrane dei globuli rossi, usando la teoria delle code per catturare le proprietà delle molecole in movimento nei canali stretti.

Il mio primo vero lavoro fu a Cornell, presso il Dipartimento di Matematica. Tuttavia, poiché Cornell era anche un importante centro per discipline quali l'ecologia e la biologia evolutiva, facevo spesso un salto in quei dipartimenti, attirato sia dall'importanza dei problemi affrontati, sia dal fascino dello studio dell'enigma più misterioso: com'è nata la diversità del mondo biologico e come si è mantenuta. La fisica è retta da leggi, che fungono da base per l'elaborazione di teorie. Darwin e Wallace dotarono la biologia di leggi proprie: l'evoluzione tramite la selezione naturale ed altri meccanismi. Cercai di studiare il più possibile l'organizzazione del mondo biologico con l'evoluzione come chiave di lettura e allo stesso tempo, attraverso lo studio di discipline quali la fluidodinamica, la fisica statistica e la biologia dello sviluppo, imparai i meccanismi della formazione di modelli e dell'auto-

organizzazione; naturalmente, queste discipline erano tutte collegate. L'evoluzione della vita era l'esperimento di auto-organizzazione per eccellenza e i meccanismi di auto-organizzazione rimandavano chiaramente alla teoria evolutiva per la loro formazione. Era anche piuttosto evidente che processi così diversi come lo sviluppo successionale delle piante e la nascita della cultura nella società umana fossero manifestazioni di processi auto-organizzativi formati per evoluzione e che, a loro volta, esercitassero una certa influenza sui processi evolutivi stessi. L'evoluzione non è un fenomeno che appartiene al passato, bensì un fenomeno che cambia continuamente il contesto interattivo tra ecologia e società. Iniziai a pensare in termini di scale (di spazio, di tempo e di complessità organizzativa) e a come la dinamica di un gran numero di agenti portasse all'emergenza di modelli e processi su più ampie scale che, a loro volta, influenzavano e vincolavano processi microscopici. Lo stesso ragionamento valeva per la meccanica statistica, con la differenza che gli agenti erano di una complessità sbalorditiva e cambiavano continuamente composizione con la nascita di nuove variazioni.

Col passare degli anni, le mie idee maturarono e si arricchirono degli insegnamenti di altri colleghi; cercavo, infatti, di dare ampio spazio alle collaborazioni proprio perché erano una buona fonte di apprendimento. Le università di Cornell e Princeton erano i luoghi ideali, perché i miei colleghi erano molto preparati e avevano molto da offrire. Da alcuni, ho appreso nozioni di matematica e logica, da altri nozioni di fisica e storia naturale. Nel 1982, mi recai per la prima volta all'ICTP a Trieste, per organizzare insieme a Tom Hallan il primo corso di ecologia matematica. In questo modo, ebbi la possibilità di condividere le mie conoscenze con persone di tutto il mondo e di imparare quali fossero le problematiche ambientali di diversi paesi. Ero in grado di risolvere problemi importanti per la società che avevano a che fare con l'ecotossicologia, l'epidemiologia, la biologia conservativa e la neonata sostenibilità. A quel punto, mi ero già spostato nel Dipartimento di Ecologia e Sistematica di Cornell, ne ero stato a capo per 5 anni e avevo istituito il Centro per la Ricerca sugli Ecosistemi per affrontare problemi ambientali. Per questo tipo di problemi, mi ritrovai a fare spesso ricorso alla scienza applicata e mi resi conto sempre di più della necessità di creare un quadro concettuale per far fronte a queste problematiche e per trarre una serie di principi organizzativi per i sistemi ecologici.

Princeton era il posto più appropriato dove continuare la mia carriera in quanto molta enfasi era data all'ecologia e all'evoluzione, ma offriva anche l'opportunità di creare legami con il mondo economico e politico. Allo stesso tempo, frequentai assiduamente l'Istituto Beijer, a Stoccolma, che più di qualsiasi altro cercava di riunire il mondo economico con quello ecologico. Iniziai ad interessarmi all'economia sia perché la ritenevo essenziale per risolvere i problemi ambientali, sia perché i sistemi economici erano in realtà sistemi ecologici (o viceversa). In entrambi i sistemi, cioè, le interazioni tra gli agenti (siano esse di cooperazione o sfruttamento) sono determinate dalla competizione per l'accesso a risorse limitate. Inoltre, entrambi sono esempi di sistemi adattivi complessi in cui nascono continuamente elementi diversi come frutto dell'interazione tra un numero infinito di agenti. In questo periodo, cercai anche di frequentare spesso l'Istituto di Santa Fe, un punto di incontro per scienziati di ogni genere che lì si riunivano per trovare risposta a domande comuni. Si tratta di un ambiente naturale ed intellettuale senza pari, dove nascono nuove idee con la stessa spontaneità con cui la mutazione e la ricombinazione generano diversità

all'interno dei sistemi naturali. La filosofia tacita alla base è che non si dovrebbero porre limiti alla nascita di idee anzi, come le mutazioni, esse dovrebbero nascere liberamente, lasciando che il processo di selezione naturale faccia il suo corso e separi il buono dal cattivo. Questo pensiero si scontra con l'opinione diffusa secondo cui, nella scienza, le idee devono nascere in seguito a risultati già ottenuti. Ci sarebbe molto da dire a proposito di questa opinione; la capacità di camminare in salita è una parte importante della selezione naturale, ma è troppo restrittiva e rischia di limitare i progressi. Un'equa ed abbondante dose di idee bizzarre ed originali è indispensabile per l'avanzamento della scienza. Nella mia carriera ho sempre cercato di trovare un equilibrio tra approcci radicali e approcci conservativi; nella vita di uno scienziato c'è posto per entrambi.

## MODELLI CLIMATICI CON I COMPUTER

*Syukuro Manabe*<sup>31</sup>

Princeton, USA



© Cortesia di Syukuro Manabe

Nel 1958 ricevetti una lettera da Joseph Smagorinsky che mi invitava a far parte del suo gruppo di ricerca presso lo US Weather Bureau, per sviluppare un cosiddetto modello di circolazione generale atmosferica. Il modello ha lo scopo di simulare su un computer il comportamento dell'atmosfera sulla base delle leggi della fisica. Esso rappresenta un'estensione molto ambiziosa del modello numerico di previsione meteorologica delle equazioni idrodinamiche, sviluppato sotto la guida di John von Neumann presso l'Institute of Advanced Study di Princeton, nel New Jersey. Sebbene la tecnologia informatica fosse solo agli albori, Smagorinsky aveva già in mente un grande progetto per lo sviluppo di un esaustivo modello matematico del sistema terrestre finalizzato allo studio del clima.

Quando ricevetti l'invito, ero un dottorando di meteorologia all'Università di Tokyo e benché a quel tempo avessi quasi terminato la tesi e stessi cominciando ad esplorare il mondo del lavoro, era molto difficile trovare una valida occupazione nel

Giappone del dopoguerra. Di conseguenza, accettai quasi subito l'invitante possibilità offertami dagli Stati Uniti, dove la tecnologia informatica si stava rapidamente sviluppando. Fu la decisione migliore di tutta la mia carriera scientifica.

Nell'autunno del 1958, cominciai a lavorare presso lo US Weather Bureau (che in seguito divenne il GFDL, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, della NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration) come ricercatore sulla circolazione generale e fin da subito

---

<sup>31</sup> S. Manabe è membro della National Academy of Sciences degli Stati Uniti, membro straniero dell'Accademia Europaea e della Royal Society of Canada. È membro onorario dell'American Meteorological Society e della Società Giapponese per la Meteorologia e membro dell'American Geophysical Union e dell'American Association for the Advancement of Science.

Nel corso della sua carriera, S. Manabe è stato insignito di molti premi, tra cui: il Premio Fujiwara dalla Società Giapponese per la Meteorologia (1966), la Medaglia Rossby dall'American Meteorological Society (1992) e il Premio Blue Placet dall'Asahi Glass Foundation (1992). L'American Geophysical Union lo ha insignito della Medaglia Revelle (1993) e la Asahi Newspaper Cultural Foundation del Giappone del Premio Asahi (1995). Manabe ha anche ricevuto il Premio Volvo per l'Ambiente dalla Volvo Foundation (1997) e la Medaglia Milankovitch dalla Società Europea di Geofisica (1998).

partecipai allo sviluppo di un modello di circolazione generale atmosferica. Affrontammo innumerevoli difficoltà e lavorammo molto duramente e intorno alla metà degli anni '60, con grande sollievo e soddisfazione, il modello cominciò a simulare con successo, su larga scala, la circolazione atmosferica e le piogge. Questo fu l'inizio della mia lunga carriera nella ricerca.

All'inizio degli anni '60 cominciai a collaborare con Wetherald, anch'egli ricercatore alla GFDL, alla costruzione di un modello unidimensionale verticale dell'atmosfera, che segnò il primo passo verso la costruzione di un modello tridimensionale di circolazione generale atmosferica. Questo modello calcola numericamente il profilo verticale di temperatura atmosferica in "equilibrio radiativo-convettivo". Questo modello riuscì a simulare realisticamente la struttura termica di base dell'atmosfera che consiste della troposfera convettiva e della stratosfera stabile.

Attraverso l'utilizzo del modello radiativo-convettivo, calcolammo quale sarebbe stata l'entità del riscaldamento globale se si fosse raddoppiata la concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera. Per la prima volta, fummo in grado di calcolare correttamente il cambiamento della trasmissione convettiva di calore dalla superficie terrestre all'atmosfera, ovviando finalmente alle lacune dei precedenti studi sul riscaldamento globale di Arrhenius e colleghi. Pubblicato nel 1967, il nostro fu il primo studio sul riscaldamento globale a superare il test dei critici.

Durante gli anni '60 e l'inizio degli anni '70, mi concentrai soprattutto sullo sviluppo di un modello tridimensionale di circolazione generale atmosferica. In particolare, contribuì ad inserire in questo modello la trasmissione verticale di calore causata dalla radiazione termica e dalla convezione umida e ad inserire il bilancio di calore e acqua sulla superficie continentale. Per la fine degli anni '60, riuscimmo a simulare la distribuzione della temperatura su dimensione verticale ed orizzontale a livello troposferico e stratosferico e la distribuzione su scala globale delle precipitazioni con le sue variazioni stagionali. Questi studi dimostrarono che il modello di circolazione generale era diventato sufficientemente realistico da poter essere utilizzato per lo studio dei cambiamenti climatici.

Nel 1975, Wetherald ed io pubblicammo un altro importantissimo studio sul riscaldamento globale. Avvalendosi di un modello di circolazione generale atmosferica, lo studio simulava e valutava, per la prima volta, la risposta tridimensionale della temperatura atmosferica e del ciclo idrologico al raddoppiamento della concentrazione di anidride carbonica nell'atmosfera. La risposta mostra un'intensificarsi del ciclo idrologico globale che include l'aumento del tasso medio globale di evaporazione e di precipitazione.

Per simulare con successo il comportamento del clima, è essenziale considerare gli oceani, che interagiscono continuamente con l'atmosfera e fungono da grande riserva di calore. Intorno alla metà degli anni '60, cominciai a collaborare con Kirk Bryan, capo del gruppo di ricerca sugli oceani del GFDL, per sviluppare un modello accoppiato oceano-atmosfera in cui il modello di circolazione generale atmosferica fosse combinato con quello oceanico. Questa collaborazione durò moltissimi anni e portò ad un modello accoppiato ora indispensabile per lo studio delle variazioni naturali ed antropogeniche del clima. È stato un piacere lavorare con lui per la sua grande apertura mentale e la generosità nel condividere le idee.

Nel 1969, Bryan ed io pubblicammo un articolo che descriveva il primo tentativo di successo di sviluppare un modello accoppiato oceano-atmosfera. Con questo modello, cominciammo ad identificare l'influenza del trasporto oceanico di calore sulla temperatura di superficie e sulle precipitazioni.

Alla fine degli anni '70, Ronald Stouffer si unì al nostro gruppo e contribuì in maniera determinante al miglioramento del modello accoppiato. Entro la metà degli anni '80 raggiungemmo un altro risultato fondamentale: l'uso del modello accoppiato con la geografia realistica. Nello studio pubblicato nel 1989, descrivemmo la risposta simulata (dipendente dal tempo) del modello accoppiato al graduale aumento di anidride carbonica nell'atmosfera. Sulla base dell'analisi della simulazione, riuscimmo a capire meglio il ruolo che gli oceani e la superficie terrestre svolgono nel ritardare e determinare la risposta del clima al graduale aumento dei gas ad effetto serra nell'atmosfera. Questo studio fu citato molte volte nella prima relazione dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, pubblicata nel 1990.

Negli anni '90, abbiamo esteso l'applicazione del nostro modello accoppiato allo studio di variazioni climatiche naturali. In una simulazione su un periodo di oltre mille anni, siamo riusciti a riprodurre gran parte della variabilità della temperatura dell'aria su scale interannuali e multidecadali. Sulla base dell'analisi dei risultati ottenuti, siamo riusciti ad identificare alcuni dei meccanismi fisici di base, responsabili della naturale variabilità del clima.

In tutta la mia carriera, ho studiato i grandi cambiamenti climatici del passato geologico in collaborazione con i colleghi del GDFL. Ad esempio, abbiamo chiarito il ruolo cruciale dei gas ad effetto serra (come l'anidride carbonica e il vapore acqueo) ai fini del mantenimento del clima caldo del Mesozoico e del clima gelido dell'ultimo massimo glaciale. Più recentemente, tramite l'uso del modello accoppiato, siamo riusciti a simulare il cosiddetto cambiamento climatico improvviso, accaduto di frequente durante i periodi glaciali e interglaciali.

Insomma, abbiamo svolto innumerevoli esperimenti numerici ed identificato i meccanismi fisici responsabili dei cambiamenti climatici del passato, del presente e del futuro. Gli studi che abbiamo svolto hanno contribuito a sostenere la nostra teoria secondo cui le attività umane hanno avuto un impatto rilevante sul clima globale.

Sebbene, per la formazione ricevuta all'Università di Tokyo, io sia uno specialista nel campo della meteorologia dinamica, sono riuscito ad aprire nuove strade di ricerca tramite la collaborazione interdisciplinare, facendo un grande passo avanti. Mentre sviluppavo un modello atmosferico radiativo-convettivo per lo studio dell'effetto serra, ho imparato molto dal professore tedesco Fritz Möller, un pioniere nel campo della radiazione termica nell'atmosfera, che era in visita presso il nostro laboratorio. È stata una fortuna poter collaborare con Kirk Bryan, oceanografo fisico del nostro laboratorio, per lo sviluppo del modello accoppiato, indispensabile per lo studio del clima. Dal mio punto di vista, un argomento interdisciplinare agevola nuove prospettive e apre strade più promettenti alla ricerca scientifica.

Nel XXI secolo sarà sempre più difficile, a mio parere, dare ugual importanza al rapido sviluppo tecnologico e alla tutela dell'ambiente globale e degli ecosistemi. Per decidere con prudenza le nostre azioni future, è opportuno avere delle proiezioni affidabili dei cambiamenti

climatici del futuro. È necessario quindi costruire un modello realistico del sistema Terra. Lo sviluppo del modello climatico, che ho trattato qui, è il primo passo verso questo importantissimo obiettivo.

Come sappiamo, il sistema terrestre è estremamente complesso. È certamente molto difficile convalidare a livello quantitativo un modello infinitamente complesso del sistema Terra e interpretarne le proiezioni dei cambiamenti futuri. Al fine di sviluppare un modello affidabile del sistema Terra, è quindi consigliabile identificare quegli importanti processi del sistema stesso che hanno un'influenza critica sul suo comportamento e scartare i dettagli meno importanti. Si tratta di un compito molto difficile, una vera sfida per i futuri scienziati impegnati nell'elaborazione di modelli del sistema terrestre.

## UN CAMMINO DIFFICILE, ISOLATO ED ENTUSIASMANTE

*Benoit B. Mandelbrot*

Yale University, USA



© Cortesia di Louis Fabian Bachrach

I figli dei possidenti o dei banchieri hanno una scelta facile quando “diventano grandi”: sono stati preparati per anni a seguire la tradizione di famiglia. La mia famiglia non possedeva né terre né banche ma aveva una forte tradizione: ci si aspettava semplicemente che io diventassi uno studioso. Per qualunque altra attività, avrei dovuto fornire una ragione ben precisa. Questa aspettativa ha forse reso la mia scelta più facile? No. Infatti, crescere è stato molto difficile, prima per gli effetti della Depressione e a causa della Seconda Guerra Mondiale e in seguito a causa dei consigli fortemente contraddittori che ricevevo da mio padre e dal suo fratello più giovane.

Avevo tredici anni quando mio zio diventò professore presso il famoso Collège de France di Parigi, pertanto fin da allora capii che tutte le professioni rispettose, comode e piacevoli avevano a che fare con la matematica pura. Poiché avevo una mente sveglia e buoni voti, c'era una buona possibilità che seguissi le orme di mio zio. Ma incontrai forti

difficoltà. Mio padre, infatti, era totalmente contrario e la sua influenza, assieme ai libri che avevo letto nel corso degli anni, avevano creato in me un forte interesse non verso la semplicità della matematica ma verso questioni più complesse e concrete come, per esempio, il funzionamento delle macchine complesse. Inoltre, a causa delle frequenti interruzioni degli studi, la mia conoscenza dell'analisi matematica era solamente mediocre. Tuttavia, quando avevo diciannove anni, capii di possedere un dono innato: ero in grado di effettuare mentalmente complicati ragionamenti matematici direttamente in termini di forme geometriche. Se non ci fosse stata la guerra, una preparazione più sistematica e impegnativa in analisi matematica avrebbe potuto quasi affievolire questo singolare dono o impedire che esso si manifestasse, o perfino incoraggiarmi ad allontanarmi dalla scienza. Considerato lo stato degli eventi al compimento dei vent'anni, nessuna delle strade che si aprivano davanti a me mi soddisfaceva pienamente. Decidendo di non seguire i loro consigli, mi ero anche messo contro molte persone che sinceramente avevano cercato di aiutarmi.

La complessità della mia vita professionale è sempre andata di pari passo con l'argomento in cui, per primo, mi sono avventurato: la complessità del mondo reale. Nel 1950, questo era un campo inesplorato ma avevo la fortuna di vivere in tempi relativamente liberi in cui era permesso correre rischi maggiori di quanto sarebbe ragionevole fare oggi. Gli imprenditori,

rispetto agli scienziati, hanno maggiore dimestichezza con il rischio e con il paradosso secondo cui, chi vuole correre grossi rischi ma al tempo stesso essere sicuro di sopravvivere, deve essere cauto e non impulsivo. In un certo senso, io ero un conservatore e all'inizio della carriera mi trovai molto a disagio, ma divenni poi un anticonformista.

A dire il vero la parola “complessità” non fece l'ingresso in ambito scientifico se non molto più tardi. Essere un conservatore che correva grandi rischi mi privò di modelli di riferimento. Andando contro corrente, non pensai mai a cercare principi da sviluppare in una teoria; al contrario, iniziai con ridurre quanto possibile il numero dei problemi e a compiere dei passi piuttosto cauti per poi diventare sempre più audace. Soprattutto, non sottovalutai mai la complessità del mondo reale che cercai di semplificare fin dall'inizio - senza distorcerlo – prestando attenzione solo agli aspetti più visibili e precisamente l'irregolarità e la frammentazione. Nonostante le diverse difficoltà, molto è stato fatto, ma molto ancora resta da fare perché l'irregolarità è onnipresente ed è spesso il maggiore ostacolo alla comprensione e al controllo della realtà.

Per la nascente teoria dell'irregolarità, sfogliando un dizionario di latino, coniai il termine “geometria frattale”, il cui sviluppo superò ogni previsione. Sollevò questioni di matematica pura che lasciarono a bocca aperta, delle vere e proprie sfide che continuano a tormentare gli esperti; alimentò la speranza che una fisica dell'irregolarità potesse presto nascere accanto ai consolidati studi sul peso, sul movimento, sulla luce e sul suono; permise di affrontare la complessità di aggregati fisici di tutti i tipi; si avvicinò molto di più alla realtà di qualsiasi altro modello alternativo di variazione finanziaria dei prezzi. Inoltre, fornì un'importante tematica alle scienze della Terra, produsse grafici strepitosi, portò alla scoperta che esempi di frattalità, che nessuno era riuscito a riconoscere come tali, facevano già parte dell'arte e dell'architettura da tempi immemorabili.

Il mio percorso è stato difficile e spesso ho dovuto camminare da solo, ma è stato anche molto entusiasmante. Lo rifarei se mi fosse data la stessa possibilità? Sì, ma a nessuno è data la stessa possibilità due volte. Altri dovrebbero tentare di ripeterla? Certamente no. Vorrei condividere due lezioni che ho imparato nel corso del mio lavoro. Coloro che osano prevedere le necessità di lavoro future non sono obiettivi, non sono esperti e raramente hanno ragione. Fare scelte affrettate e cercare di conformarsi a queste previsioni ed indicazioni sembra la strada più sicura, ma, di fatto, è la più pericolosa. Migliorare le capacità individuali che si amano è di gran lunga l'inizio migliore, fintanto che ciò permette di ampliare e non restringe le proprie competenze. Una volta che si è acquisita una solida preparazione nel campo scientifico che si ama, è più facile cambiare campo o prendere altre strade. Ma non si potrà mai restare al passo con la scienza. Volete fare la differenza? La scienza (come de resto tutti gli altri aspetti della società) ha bisogno più che mai di giovani che sappiano conciliare vaste conoscenze con una disciplinata disponibilità a correre dei rischi, sia per la loro personale soddisfazione sia per il benessere morale dell'umanità.

## LA RICERCA È TOTALE LIBERTÀ

*Mambillikalathil G.K. Menon*

New Delhi, India



© Cortesia di  
Mambillikalathil G.K. Menon

Da giovane, ero affascinato dalle carriere professionali in diversi campi: scienza, medicina, legge, storia, amministrazione e gestione aziendale. La decisione di entrare a far parte del mondo della scienza avvenne essenzialmente in occasione di un incontro fortuito, quando avevo circa 16 anni, con il professor C.V. Raman che aveva vinto il Premio Nobel per la scoperta dell'effetto Raman. Raman era un individuo esuberante ed entusiasta. Mi raccontò che non c'era niente di più eccitante della scienza da perseguire nella vita. Quell'incontro mi motivò a tal punto che decisi di seguire il suo consiglio, considerato anche che andavo bene nelle materie scientifiche. Trovavo la scienza affascinante ed ero sempre alla ricerca del “perché” delle cose. Ricordo che il periodo in cui iniziai a fare ricerca, fu caratterizzato dalla libertà di studiare ed imparare, muovendomi nell'ampio spettro delle scienze, e dal duro lavoro di fisica sperimentale e di laboratorio.

Ebbi la fortuna, già all'inizio della mia carriera, di essere ammesso al laboratorio di Cecil Powell, all'Università di Bristol, in Inghilterra. Gli avevo spedito una lettera scritta a mano in cui esprimevo la mia ammirazione ed emozione per il suo articolo pubblicato su *Nature* (che in seguito gli valse il Nobel) e in cui gli chiedevo di poter lavorare con lui. Ricevetti immediatamente una risposta scritta di suo pugno con cui acconsentiva alla mia richiesta – alla faccia del lungo procedimento di presentazione delle domande di lavoro diffuso oggi. Bristol offriva un ambiente di lavoro molto appassionante; il gruppo di ricerca aveva lo stesso entusiasmo di una giovane squadra sportiva: quello di chi si sente leader e in cima alla vetta.

Oltre al gruppo di Powell, riconosciuto nel mondo come un centro di ricerca *leader* nel suo campo, a Bristol c'era anche un altro gruppo di rilievo che si occupava di fisica della materia condensata, quello guidato da Neville Mott e Charles Frank.

Nei 6 anni passati a lavorare per Powell, il mio lavoro di ricerca conobbe momenti emozionanti che coincisero soprattutto con le prime intuizioni sui diversi modi in cui i cosiddetti mesoni K (o pesanti) decadevano in particelle secondarie. Il gruppo di Powell aveva già osservato in emulsioni il decadimento di un mesone tau in tre mesoni pi carichi. Per il mio primo lavoro, fui coinvolto nella scoperta secondo cui la traccia di una particella, ovviamente venuta ad arrestarsi in emulsione nucleare dando così origine ad una singola particella

secondaria ad alta energia, era dovuta ad un mesone pesante la cui massa era maggiore di circa quattro volte rispetto a quella del mesone  $\pi$ . In seguito, osservammo che quando si misuravano le masse delle singole particelle secondarie, originate dal decadimento di mesoni pesanti, esse si rivelavano in alcuni casi mesoni  $\mu$  e, in altri, mesoni  $\pi$ . Tuttavia, quando si trattava di mesoni  $\mu$ , sembravano avere energie variabili, quando venivano identificati come mesoni  $\pi$ , sembravano avere la stessa energia. Questi ultimi rappresentavano chiaramente il decadimento di un mesone pesante e se il mesone secondario neutro fosse stato un mesone  $\pi^0$ , allora la massa del genitore sarebbe stata identica a quella del mesone  $\tau$ . Questi erano i primordi di un affascinante campo che, più in là, sarebbe stato caratterizzato dall'enigma del *tau-theta puzzle*, la necessità di avere violazioni di parità nelle interazioni deboli (di Lee e Yang), neutrini *right-handed* e *left-handed*. Queste ricerche misero in evidenza problemi profondi collegati alle interazioni deboli che alla fine avrebbero condotto al lavoro di Salam (come anche di Weinberg e Glashow) sull'unificazione elettrodebole. Tutti questi sviluppi avvennero nei successivi trent'anni e per me fu un grande privilegio poter collaborare personalmente con molti dei grandi scienziati che hanno svolto un ruolo chiave in questo campo.

Fummo inoltre i primi a dimostrare che c'erano elettroni secondari al verificarsi di un decadimento di mesoni pesanti e potemmo così stabilire le diverse modalità di decadimento dei mesoni pesanti in muoni e pioni, in decadimenti di due e tre corpi e anche degli elettroni in decadimento a tre corpi. Inoltre, scoprimmo che i mesoni pesanti, una volta portati a riposo in emulsioni nucleari, non producevano mai interazioni, al contrario dei mesoni  $\pi$ . A causa di ciò e di altre proprietà, i mesoni pesanti vennero chiamati particelle "strane"; essi sono caratterizzati da un numero quantico di stranezza (Gell Mann). Molte di queste scoperte iniziali sono state confermate ed elaborate attraverso un esperimento con un'enorme massa di emulsione nucleare dal volume pari a 15 litri. Partendo da strati sottili di emulsione aventi uno spessore di 400 micron, alla fine ottenemmo il volume di 15 litri. Tuttavia, risultò chiaro che la tecnica dell'emulsione nucleare da sola e la bassa intensità di raggi cosmici parevano limitazioni e che ulteriori sviluppi in questo campo sarebbero stati possibili soltanto attraverso studi effettuati con acceleratori.

Nel 1955, dopo sei anni emozionanti a Bristol, ritornai in India al Tata Institute of Fundamental Research (TIFR), a Bombay. Avevo deciso di avere la responsabilità di vivere e lavorare nel mio paese e dimostrare che, purché ci fossero le occasioni, poteva essere svolto un ottimo lavoro di qualità competitiva a livello mondiale nei molti campi emergenti.

Al TIFR, la ricerca andava in due direzioni. Innanzi tutto, era necessario acquisire padronanza delle tecnologie per la costruzione e l'attivazione di palloni aerostatici di grandi dimensioni, per eseguire ricerche sui raggi cosmici vicino alla parte superiore dell'atmosfera terrestre. I primi anni furono una vera e propria saga di avventure giovanili e goliardiche ma alla fine riuscimmo nel nostro obiettivo. Ci sono molti aneddoti che potrebbero illustrare quanto sia divertente fare scienza. Da quel periodo, sono stati fatti enormi passi avanti: oggi esistono palloni aerostatici del volume di 30 milioni di piedi cubi, con carichi che trasportano tonnellate di rilevatori e che circolano vicino alla parte superiore dell'atmosfera terrestre per studiare i raggi cosmici e per studiare l'astronomia in raggi X, infrarossi e gamma.

L'altro campo di ricerca riguardava gli studi di fenomeni per mezzo di rivelatori elettronici messi sotto terra a profondità progressivamente crescenti. Questi studi furono condotti in miniere d'oro profonde fino a 2 miglia. Ricordo l'eccitazione che provammo quando i rivelatori non fornirono alcun dato alla profondità di 8.400 m; concludemmo così che sarebbe stato possibile, a quel punto, rilevare le interazioni prodotte da neutrini naturali. Quello che inizialmente era considerato soltanto uno studio fenomenologico dell'intensità del raggio cosmico come funzione della profondità era diventato un nuovo palcoscenico dove osservare i neutrini naturali. Gli studi sui neutrini dallo spazio avrebbero anche portato a nuovi sbocchi per la fisica e l'astrofisica. Infine, con grandi rivelatori a grande profondità, una collaborazione tra TIFR-Osaka-Durham (Regno Unito) riuscì a rilevare per la prima volta l'interazione del neutrino naturale.

Ricordo che, in occasione di una noiosa riunione alle Nazioni Unite a New York, Abdus Salam ed io parlammo della possibilità di scoprire il decadimento del protone. Se scoperto, il decadimento avrebbe dato vita alla grande unificazione delle interazioni elettrodeboli con le interazioni forti. Salam voleva sapere se si poteva scoprire il decadimento di protoni, nel caso che la vita media fosse lunga  $10^{29}$  anni, come previsto da alcune semplici teorie. Un semplice calcolo dimostrò che era veramente possibile con un rivelatore di circa 100 tonnellate di materia. A quel tempo, i miei colleghi del TIFR e quelli giapponesi stavano anch'essi pensando a queste possibilità e, tutti insieme, ci imbarcammo nel primo esperimento a livello mondiale dedicato alla ricerca del decadimento del protone. Sebbene non sia stato osservato nessun decadimento di protoni fino ad ora, i rivelatori più grandi hanno recentemente fornito nuove informazioni in aree inaspettate della fisica del neutrino e dell'astrofisica.

Personalmente, fare ricerca è stata un'opportunità unica di compiere osservazioni inaspettate ed è stata una grande esperienza vedere che, grazie a molti di questi piccoli contributi, è stato possibile compiere eccezionali passi avanti nella comprensione della natura. Ciò è stato possibile grazie al lavoro di un gran numero di scienziati di tutto il mondo – molti dei quali di altissimo livello. È stato magnifico collaborare personalmente con così tante menti eccezionali, mentre questi campi progredivano.

Ma per me la scienza è anche importante in termini culturali, in quanto offre una prospettiva del mondo razionale ed obiettiva, in uno scenario di trasparenza, apertura ed amicizia. Ho potuto assistere al modo in cui le scoperte scientifiche hanno dato origine a tecnologie ed applicazioni che hanno profondamente cambiato il mondo nell'ultima metà del secolo. Ho avuto anche la fortuna di poter offrire a molti scienziati del mio paese opportunità di operare in nuove aree della fisica delle particelle, dell'astronomia, della nuova biologia, dell'elettronica e delle tecnologie dell'informazione, dello sviluppo sostenibile, ecc. Alcune di queste opportunità hanno riguardato ricerche strettamente pure, ma molte hanno portato direttamente alla creazione di benefici per un gran numero di persone.

La scienza è davvero emozionante e sono contento di aver avuto l'opportunità di lavorare in questo campo.

## UN RAPPORTO CON LA FLUIDODINAMICA LUNGO UNA VITA

*Keith Moffatt*

Trinity College, Cambridge, UK



© Cortesia di Penelope Moffatt

Fin da bambino mi sono sempre piaciuti i rompicapi anche perché ero invogliato da mio padre che ne era lui stesso appassionato. Ne ricordo uno di quando avevo circa 12 anni: ovviamente  $8+8+8=24$  e  $(9 \times \sqrt{9}) - \sqrt{9} = 24$ ; la regola è che bisogna ottenere sempre il numero 24 usando a turno ogni numero intero 1,2...9, esattamente 3 volte (non più, non meno) ed utilizzando i simboli aritmetici standard. Provateci! Alcuni sono particolarmente difficili, ma sono tutti possibili.

Quando andavo a scuola, la matematica mi piaceva talmente tanto che c'erano pochi dubbi che avrei continuato a studiarla anche all'Università; tuttavia, giacché ero affascinato anche dalla fisica, finii per iscrivermi all'Università di Edimburgo alla Facoltà di Matematica Applicata, che era un po' considerata la "terra di nessuno" e che copriva entrambe le discipline.

Continuai gli studi post-laurea al Trinity College a Cambridge e dopo un anno speso tra i misteri della meccanica quantistica, capii che il mio vero tempio spirituale era la fluidodinamica, una disciplina classica che implicava la soluzione di problematiche matematiche più dirette, un'applicazione pratica immediata e ad ampio raggio e, da un punto di vista personale, l'affascinante possibilità di visualizzare il flusso di un fluido (un lusso impossibile nel caso della quantistica): le onde del mare, un ramoscello nel mezzo di una corrente turbolenta o ancora una piuma portata dal vento.

All'inizio del mio lavoro di ricerca, ebbi la fortuna di godere della supervisione di George Batchelor, uno dei maggiori pionieri della teoria statistica del flusso turbolento. Da lui ho imparato quanto sia indispensabile l'autocritica nella ricerca, in particolare nei confronti delle proprie idee ed argomentazioni tanto quanto nei confronti di quelle altrui. Lentamente sviluppai la cosiddetta "intuizione fisica", ossia la capacità di intuire il comportamento di un fluido in date circostanze; tale intuizione è fondamentale ai fini della scelta e del perfezionamento degli appropriati modelli matematici come oggetto di un'analisi rigorosa. Il confronto fra la teoria e l'esperimento è il banco di prova decisivo e questo consente il perfezionamento dell'intuizione fisica dello scienziato!

Sir Geoffrey Taylor, membro del Trinity College, fu uno degli scienziati più importanti nella storia della meccanica teorica e sperimentale (sia dei solidi che dei fluidi) del XX secolo, noto soprattutto per la scoperta, nel 1923, dei "vortici di Taylor" nel moto di un fluido tra dei

cilindri coassiali rotanti. G.I.<sup>32</sup> (come lo chiamavano gli amici) partecipò attivamente alla ricerca fino alla fine degli anni '60 e fu di grande ispirazione per il giovane gruppo di ricerca sulla fluidodinamica di Cambridge. Nessuno era dotato di una maggior intuizione fisica; egli sapeva utilizzare la matematica appropriata per qualunque fenomeno stesse studiando. Mi insegnò che la matematica complessa fine a se stessa non ha nessun merito; la vera arte sta nel percepire la semplicità dei fenomeni naturali che spesso si esprimono attraverso una matematica relativamente semplice. Ma riconoscere gli effetti fisici chiave ed estrapolare la matematica dai principi che li regolano e le equazioni di fluidodinamica, ecco il vero problema!

La mia tesi di dottorato, conseguita nel 1962, verteva sulla "Turbolenza Magnetoidrodinamica", ossia la turbolenza in fluidi che conducono elettricità (gas ionizzati da un lato, metalli liquidi dall'altro), una materia con importanti applicazioni in astrofisica, geofisica, fisica della fusione termonucleare ed ingegneria. Questi fluidi sono generalmente permeati da un campo magnetico le cui linee di forza sono quasi "congelate" nel fluido, nel senso che sono trasportate dal fluido come fili elastici, un processo che si riesce a visualizzare mentalmente con facilità. Allo stesso tempo, tali linee di forza si diffondono relativamente al fluido, in modo tale da rompersi e poi ricollegarsi (probabilmente con una topologia diversa). Queste idee sono ormai molto note, ma nel 1960 costituivano una novità e le loro implicazioni erano per lo più incomprensibili. Si trattava di un campo molto ostico, ma mi sentivo fortunato ad essere coinvolto in una disciplina così emozionante che coinvolgeva sia la fluidodinamica che l'elettromagnetismo. Da allora, ho sempre cercato di interessarmi a questa disciplina con regolarità.

Fin dall'inizio della mia carriera, mi sono dedicato molto all'insegnamento mirato agli esami per il conseguimento della laurea in matematica a Cambridge e questo lavoro ha avuto un'importante influenza sulla mia ricerca. Fu proprio attraverso un problema che sottoposi agli studenti all'esame del 1962 che cominciai a considerare il flusso di un fluido viscoso in un angolo delimitato da due piani rigidi. Arrivai alla sorprendente e non intuitiva conclusione che nel flusso angolare è presente una sequenza infinita di vortici. Pubblicai un articolo sull'argomento nel 1964 e 15 anni dopo Taneda, in Giappone, presentò le prove sperimentali dei vortici con i magnifici esperimenti della visualizzazione del flusso. Credo che poche cose riescano a dare più soddisfazione del vedere un'ipotesi puramente teorica verificata in questo modo e dopo così tanto tempo.

Sebbene non sia uno sperimentale, mi diverto a fare piccoli esperimenti amatoriali. Pubblicai il mio primo esperimento nel 1977, sulla dinamica complessa di uno spesso strato di liquido viscoso (e.g. sciroppo d'acero) spalmato uniformemente sulla superficie di un cilindro orizzontale che ruota intorno al proprio asse. Questo problema attirò la mia attenzione per la prima volta in occasione del discorso di V. Pukhnachev alla Scuola Estiva della Fluidodinamica organizzata dall'ICTP nel 1974 (un evento che contribuì a fare accettare la fluidodinamica come un ramo legittimo e rispettabile della fisica teorica!). Chiunque si imbarchi in questo esperimento avrà una bellissima sorpresa: il fluido si organizza, lungo tutto il cilindro, in una sequenza di anelli più o meno equidistanti. Ogni anello ha una sola discontinuità di profondità che ruota insieme al cilindro, solo più lentamente. Questo

---

<sup>32</sup> Dalle iniziali del nome: Geoffrey (primo nome) Ingram (secondo nome) (*N.d.T.*)

esperimento racchiude molti aspetti del flusso viscoso, fondamentali per la fluidodinamica: l'esistenza di flussi stazionari, la loro stabilità, l'inclinazione delle onde, la formazione di discontinuità e la relativa formazione di cuspidi, un fenomeno di grande interesse in quanto molto importante nel mescolamento (a livello microscopico) di fluidi come l'olio e l'aceto. Pensateci, la prossima volta che condite l'insalata o che mettete un po' di miele nello yogurt: quando avrete visualizzato il processo di mescolamento, il cibo avrà un sapore migliore!

## FAR PARTE DI UN BUON GRUPPO

*Marcos Moshinsky*

Universidad Nacional Autónoma de México  
Mexico



© Cortesia di Marcos Moshinsky

Il mio interesse per la scienza nacque piuttosto tardi, perché alle elementari e alle medie ero uno studente mediocre.

Per quanto i miei genitori nutrissero una grande ammirazione per lo studio, essi emigrarono dalla Russia in Messico nel 1927 ed erano troppo occupati a sbarcare il lunario per iscriversi all'università.

Arrivato però al terzo anno della Secondaria (equivalente alla fine delle medie), il professore di matematica delle superiori richiese un esame di ingresso e con mia grande sorpresa ottenni il voto migliore della classe.

Questo naturalmente incrementò il mio interesse nella materia e al termine del corso ero molto più avanti rispetto agli altri studenti. Nei successivi anni di liceo in Messico, ogni studente doveva definire il proprio campo di interesse, con l'obiettivo di accedere all'università con una preparazione di base. Io scelsi

matematica e fisica, pensando all'ingegneria come futura professione. Accadde che al termine del liceo ebbi una malattia psicosomatica che i medici non seppero diagnosticare e mi suggerirono di sospendere gli studi per un anno per alleviare la tensione mentale.

Così trascorsi un anno (1939) a New York come operaio in una maglieria (tra Broadway e la 12° strada), impiegando parte del mio tempo a migliorare l'inglese.

Di ritorno in Messico, alla vigilia della Seconda Guerra Mondiale, appresi che l'Università Nazionale del Messico (UNAM) aveva creato nel 1938 una Facoltà di Scienze che offriva anche corsi di matematica e fisica.

Mi iscrissi quindi all'UNAM nel 1940 e, quando ero ancora al secondo anno, ricevetti l'incarico di assistente ricercatore presso l'Istituto di Fisica, anch'esso fondato nel 1938.

A quel tempo il mio lavoro principale consisteva nel badare ad un contatore di raggi cosmici, perché quello era il campo di ricerca del direttore dell'istituto, un ex studente del dott. Manuel Sandoval Vallarta, uno dei pionieri della ricerca sui raggi cosmici.

Il mio lavoro non interferì con i miei studi e mi laureai nel 1944.

A quel tempo, tre illustri matematici americani trascorsero lunghi periodi in Messico, visto che molti dei loro studenti servivano nell'esercito durante la Seconda Guerra Mondiale. Mi riferisco a George Birkhoff, Norbeert Wiener e Solomon Lefschetz. Fu Lefschetz, che lavorava all'Università di Princeton, a suggerirmi di continuare i miei studi presso la sua Università con Eugene Wigner, allora già famoso e più tardi vincitore del Premio Nobel. Grazie all'aiuto di Lefschetz fui ammesso alla fine del 1945 ed ottenni anche una borsa di studio. Conseguii il dottorato nel 1949.

In quegli anni Princeton era la mecca della Fisica Teorica non solo grazie a professori come Wigner, Wheeler e Bargman, ma anche grazie al fatto che, nel 1947, Robert Oppenheimer divenne Direttore dell'Istituto di Studi Avanzati, a poco più di un chilometro dall'Università, portando con sé alcuni tra i migliori giovani fisici e matematici del tempo.

Perciò la mia permanenza a Princeton fu molto proficua e al mio ritorno in Messico potei contribuire allo sviluppo della fisica teorica all'UNAM.

Mentre ero a Princeton mi divenne molto chiaro che, nel futuro, il peso delle nazioni nel contesto internazionale non sarebbe dipeso tanto dalle industrie o dagli armamenti, quanto dalla conoscenza e dall'uso della scienza.

Al mio ritorno in Messico volevo che il mio paese fosse consapevole di questa situazione e che i miei compatrioti approfondissero le conoscenze scientifiche e le sue applicazioni.

Così, per più di 40 anni ho insegnato ai corsi di laurea e di dottorato presso l'UNAM, i primi sulla meccanica quantistica, che considero la base della fisica moderna, i secondi sulla ricerca che svolgevo al momento.

Durante questo periodo sono stato il relatore di quasi 30 tesi di Laurea in Fisica, di 15 Dottorati nello stesso campo e quando divenni più noto a livello internazionale, più di 15 post-doc stranieri vennero in Messico per almeno un anno a collaborare alle mie ricerche.

Nel campo della fisica, ho pubblicato più di 275 articoli su riviste internazionali riconosciute, cinque libri e molti articoli su quotidiani per lo più sull'impatto della scienza e dell'istruzione sulla società.

Ho sempre lavorato per l'UNAM, benché abbia viaggiato spesso per trascorrere periodi che variavano da alcune settimane ad un anno in molti altri istituti. Non ho mai sentito il fatto di lavorare in Messico come un ostacolo alla mia attività scientifica, piuttosto mi è stato vantaggioso, perché non ho subito pressioni per lavorare a temi che erano di moda nei paesi avanzati ma ho potuto concentrarmi su quelli che io stesso giudicavo importanti.

Di fatto poi, alcuni dei temi che consideravo validi divennero popolari dopo che avevo pubblicato un articolo su di essi, come il ruolo delle simmetrie delle trasformazioni canoniche nella meccanica quantistica; la semplificazione dei calcoli della struttura nucleare con l'ausilio di parentesi di trasformazione per l'oscillatore armonico; il problema dei multi-corpi e l'oscillatore di Dirac. Il mio consiglio ad un giovane fisico, ed anche ad un giovane scienziato di qualsiasi campo, è di non seguire l'esempio di Einstein di lavorare in un eremo, lontani dalle pressioni e distrazioni delle principali istituzioni del sapere, ma piuttosto di scegliere un'università o un gruppo di ricerca agli esordi, per poter contribuire alla sua trasformazione in una struttura di primo piano.

## LA MIA VITA DI SCIENZIATO

*David B. Mumford*

Brown University, USA



© Cortesia di David B. Mumford

Nella vita, alcune delle decisioni vengono prese naturalmente, senza bisogno di una ricerca interiore; altre vengono procrastinate per anni e alla fine sono prese perché si è forzati da circostanze esterne. Io sono stato fortunato perché la scienza non è stata una scelta problematica: volevo sapere come funzionava il mondo e la scienza mi sembrava la “magia” più potente. Ma ci fu anche un altro motivo. Una volta, da bambino, interruppi un pittore, un vecchio amico di famiglia, mentre lavorava ad un quadro. Gli chiesi per chi lavorava e mi rispose: “ Per me stesso”. Allora capii. Perché lavorare per qualcun altro, quando ci si può guadagnare da vivere facendo ciò che si ama? Questo pensiero ha dei risvolti di cui sono riuscito a capire l’importanza in maniera molto graduale. Uno degli aspetti più importanti è che, lavorare per qualcuno, significa avere una scadenza temporale entro la quale

bisogna ottenere dei “risultati”. Lavorare per se stessi significa lavorare ad un progetto che può durare anche 10 anni o tutta la vita. Se si pensa in termini di tempo, si arriva a considerazioni diverse. Andrew Wiles, che dimostrò la congettura di Fermat, passò 10 anni in soffitta senza pubblicare molto. Questo tipo di libertà è rara nella vita e dovrebbe essere considerata un tesoro. Le agenzie di finanziamento, pressate da contabili e politici, cercano sempre di privare gli scienziati di tale libertà. Ecco perché insegnare è un buon modo per fare anche ricerca (specialmente in matematica): c’è sempre da fare qualche lavoro utile, anche nei periodi in cui le idee sono scarse.

Alle superiori, capii che la scienza era la mia passione, in particolare la fisica e l’astronomia, ma al college mi orientai gradualmente verso la matematica, perché non ero riuscito ad imparare la teoria quantistica dei campi. Capii che la matematica e la fisica erano diventate molto diverse. Dall’antichità fino a circa il 1930, erano state discipline affini e molte persone ne attraversavano i confini e lavoravano in entrambi i campi. Poi successe una cosa strana: la teoria quantistica dei campi elaborò un formalismo che aveva perfettamente senso in fisica, ma di cui non poteva essere trovata una qualche coerente definizione matematica. I fisici scoprirono che, elaborando le intuizioni (es. nei diagrammi di Feynman), potevano approfondire le idee ed anche trovare convincenti procedimenti euristici, per estrarre previsioni numeriche dalle loro teorie. I matematici trovarono in questa teoria solo qualche frammento su cui poter svolgere un lavoro logico. Ne risulta che oggi i matematici considerano i fisici come dei cowboy che avanzano ragionamenti selvaggi che, poiché coerenti con la natura, non possono essere sbagliati. I fisici, dall’altra parte, giudicano i

matematici come persone affette da disturbo ossessivo compulsivo, ossia persone che lavorano in continuazione su piccoli dettagli per trasformare un'intuizione in un'idea rigorosa.

Detto ciò, a metà dell'università, decisi che avrei fatto matematica. Un mio professore, Oscar Zariski, aveva una straordinaria capacità: quando parlava del suo campo (la geometria algebrica) nel quale i protagonisti erano oggetti chiamati 'varietà', li poteva far sembrare vivi! Era solito andare alla lavagna e dire, "Facciamo che  $V$  sia una varietà.", e scriveva  $V$  sulla lavagna. Niente di più, ma io ero convinto, dalla sua spiegazione e dalla sua voce, che lui vedesse un mondo dove  $V$  viveva e respirava proprio come le persone. Era il suo giardino segreto e volevo riuscire a guardarci dentro anch'io.

E così, dopo un po', ci riuscii. Questa è la qualità che amo di più nella matematica: creare mondi fisicamente non reali, ma colorati come tutto ciò che ci circonda. Domande del tipo "quali sono gli spazi dei moduli delle curve che hanno genere geometrico positivo?", all'atto pratico, equivalgono a chiedere "quali Stati dell'Asia sono musulmani?". Io credo che una delle più importanti caratteristiche di un buon matematico sia l'incredulità, l'abilità di pensare a questi mondi come reali. All'università scoprii di voler diventare un "Magellano" della matematica e visitare il più possibile questi mondi per quanto la mia mente e la mia vita avessero permesso. (È molto bello quando, durante l'esplorazione, la matematica crea contatti con scienziati che vivono in parti molto distanti del mondo: nel mio caso, la matematica mi portò in India).

Quindi, gli spazi dei moduli e altre domande di geometria algebrica divennero il mio campo; ho trascorso circa 25 anni della mia vita a cercare di studiarne le caratteristiche, adoperando gli utili strumenti della matematica. È interessante notare che, quegli stessi scienziati che hanno elaborato la teoria delle stringhe, hanno preso gli spazi dei moduli e ne hanno fatto degli importantissimi ingredienti di questa branca speculativa della fisica teorica.

Avevo anche un secondo interesse. All'università, mi incuriosiva molto il funzionamento della mente umana. A quel tempo, sia la psicologia sia le scienze neurologiche erano agli esordi. Pian piano venivano compiute sempre nuove scoperte: la psicofisica di Helmholtz, la psicoanalisi di Freud, gli incredibili disegni di Cajal eseguiti con la camera lucida che mostravano i collegamenti neurologici delle cellule nervose, gli esperimenti di Penfield sulla corteccia cerebrale durante gli interventi chirurgici per la cura dell'epilessia. Ma alcuni dei basilari strumenti della fisiologia e dell'anatomia del cervello erano sconosciuti, come l'effetto delle droghe sul cervello, la risonanza magnetica come mezzo per correlare l'attività cerebrale con varie azioni, ecc. Il transistor non era ancora stato inventato, quindi è facile comprendere quanto fosse difficile costruire un computer. (Alla scuola superiore ne costruii uno per un progetto scientifico, ma si bruciò il nastro di carta mentre il computer faceva una moltiplicazione a 2 cifre.)

Agli inizi degli anni '80, il mio collega Jayant Shah ed io, ispirati dal brillante scienziato David Marr morto di leucemia, iniziammo a lavorare nel campo della visione computerizzata. Il problema che Marr aveva posto era quale fosse il giusto modello matematico/numerico per comprendere che cosa succede a livello celebrale quando descriviamo uno stimolo visivo e nominiamo l'oggetto di fronte a noi. Ci sembrava la strada giusta per analizzare il problema del funzionamento del cervello. È interessante ciò che succede quando si cerca di riprodurre al computer qualche semplice attività, come contare i volti contenuti in una foto. Ricreare cose

semplici, è molto difficile! In qualche modo queste ‘semplici’ attività mentali hanno un subdolo livello nascosto che non è facile da scoprire. È facile creare algoritmi che funzionano, diciamo al 50%, con le facce, ma che non tengono conto delle complicazioni che il cervello umano può affrontare senza problemi: il cambiamento di luce, la posa, le espressioni, le acconciature, ecc.

Cercammo di considerare il problema con un approccio matematico, usando un formalismo variazionale per combinare l’‘evidenza’. Ma la svolta per me fu scoprire l’approccio statistico trovato da Ulf Grenander. Ora ho la ferma convinzione che ciò che fa il cervello, sia nelle attività complesse che in quelle più semplici, ha poco a che fare con la logica. Esso applica invece una sorta di inferenza statistica, in particolare la varietà conosciuta come “l’inferenza statistica di Bayes”, secondo cui la lunga esperienza dei modelli del mondo può essere integrata con l’analisi della percezione attuale. Si sono fatti grandi passi avanti con questo approccio e sono sicuro che il problema di Marr potrebbe essere risolto in un futuro non tanto lontano. Tuttavia, non è chiaro come questo approccio possa funzionare nella mente. Il nostro cervello è costruito diversamente da quello di un computer, quindi niente si svolge per analogia diretta. Questo è un nuovo confine per la biologia, oltre il genoma.

Vorrei aggiungere una parola sulla separazione tra la matematica pura e quella applicata. Avendo lavorato in entrambi i campi, sono pienamente consapevole che ci fossero “problemi di comunicazione”. Come per la matematica e la fisica, questa divisione avvenne nella metà del XX secolo, quando la matematica pura iniziò a sviluppare le sue branche più astratte (es. topologia algebrica) e la matematica applicata iniziò, con l’avvento del computer, a concentrarsi su metodi numerici invece che sulla classica analisi e su formule esplicite. I miei colleghi ed io crediamo che la questione centrale sia questa: in matematica pura, la cosa fondamentale è provare i *teoremi*. Il successo di una teoria è direttamente proporzionale alla profondità e alla difficoltà dei teoremi ai quali conduce. In matematica applicata, invece, le più grandi scoperte sono le creazioni di nuovi ed efficaci modelli che conducono a teorie matematiche in grado di semplificare la complessità del mondo reale, abbastanza da renderlo comprensibile, ma non fino al punto di non essere più in grado di generare previsioni rilevanti per gli scienziati. La mia speranza è che questa distanza gradualmente diminuisca con l’avvento di una nuova generazione di matematici, amante della bellezza formale di questa scienza e consapevole che calcoli ed applicazioni possono condurre a nuove e magnifiche scoperte.

## C'È MOLTO DA FARE DOPO I VENTICINQUE

*Yoichiro Nambu*

Enrico Fermi Institute  
Chicago, USA



© Cortesia della University of Chicago

Sono cresciuto in una città di provincia molto conservatrice in una zona del Giappone soprannominata il Regno dei buddisti. Mio padre lasciò la casa dei suoi genitori, rifiutandosi di continuare l'attività della famiglia che gestiva un negozio di strumenti per rituali buddisti. Aspirando a diventare uno scrittore, si trasferì a Tokyo, dove nacqui io, per studiare letteratura. Tuttavia entro breve perse tutto, a causa del grande terremoto del 1923 che distrusse la capitale. Così, pur riluttante, fu costretto a rientrare nella sua città natale e finì a fare l'insegnante nelle scuole superiori. Non aveva ricevuto un'educazione scientifica ma insisteva che un scrittore dovesse conoscere qualcosa su tutte le attività umane e durante la mia infanzia mi diede da leggere libri e riviste scientifiche per bambini. Thomas Edison divenne il mio eroe.

Nel periodo della scuola elementare ero solito visitare la casa dei miei nonni, dove uno dei miei zii era morto di tubercolosi. Suppongo che non raggiunse un livello di istruzione molto alto ma a quanto pare si dilettava con la scienza. Trovai un catalogo di strumenti scientifici fabbricati da un'azienda di Kyoto, ben nota al giorno d'oggi e mi piaceva molto sfogliarlo. Una volta la mia attenzione cadde su un regolo calcolatore e mio padre me ne regalò uno per il nuovo anno. Ce l'ho ancora. Un giorno scoprii anche alcuni manuali e parti di radio-circuiti, i cui schemi e formule misteriosi catturarono la mia immaginazione e provai con tenacia a decifrarli, anche se ovviamente non sapevo nulla di elettromagnetismo. Tuttavia ottenni un piacere immenso nell'indovinare, in un modo o nell'altro, il significato di quelle formule. In quel periodo aprii una stazione radiofonica nella nostra città, ma noi non avevamo una radio, così trascorsi un mese estivo a costruire una radio a galena con le parti lasciate da mio zio. Il torneo nazionale annuale di baseball delle scuole superiori era un grande evento allora (lo è ancora), e fu trasmesso alla radio: non dimenticherò mai l'emozione di quando riuscii ad ascoltare l'ultima partita, un duello fra due grandi lanciatori. La partita continuò per venticinque innings senza un vincitore (questo numero significativo ritornerà di nuovo) ed è tuttora considerata la partita più lunga nella storia del torneo, come qualcuno mi ha detto recentemente dopo una ricerca sul Web.

Quando frequentavo le superiori, ancora una volta a casa dei miei nonni, trovai alcuni appunti sull'analisi matematica che erano stati presi meticolosamente da un altro mio zio durante gli anni dell'università. Li studiai intensamente ed acquisii una certa propensione per la matematica superiore. Un importante editore di Tokyo aveva iniziato a pubblicare una serie di libretti su argomenti specializzati in varie discipline, facilmente disponibili nelle librerie locali. La mia curiosità fu destata dal titolo "Successione e formula di successione" (matrice e determinante) e riuscii a comprarne una copia. Anche se divenne troppo difficile per me verso la fine, imparai, tra l'altro, che i matematici giapponesi nel diciassettesimo secolo avevano sviluppato la teoria dei determinanti. La fisica e la matematica delle scuole superiori non erano così interessanti, ma fui molto compiaciuto di me stesso quando capii come si forma l'arcobaleno e riuscii a calcolarne la dimensione angolare.

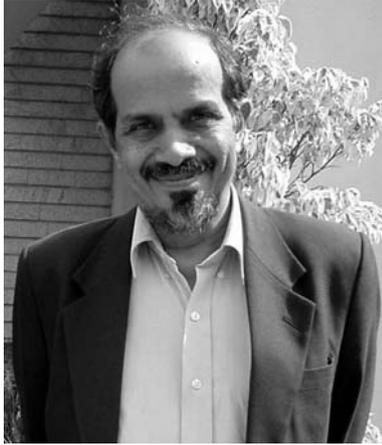
Gli anni trenta passavano in fretta e la vita in Giappone diventava sempre più sgradevole a causa del nazionalismo irrazionale ed oppressivo, con guerre ed omicidi che si succedevano uno dopo l'altro. Ho teneri ricordi dei miei anni di università a Tokyo quando ancora non era stata colpita dall'intolleranza: fu la mia prima esperienza di vita spensierata e senza pregiudizi e anche una fuga dalla minacciosa realtà. L'atmosfera dei dormitori autogestiti esercitavano una grande influenza sul semplice ragazzo di campagna quale ero ed iniziai a coltivare molti interessi; per quanto riguarda la fisica, imparai il modo di ragionare di un fisico osservando discutere i miei amici più istruiti. Tuttavia, fui bocciato in termodinamica che, a mio avviso, era la materia più profonda e concettualmente più difficile tra le scienze fisiche. Un professore di matematica mi diede un grosso stimolo: amava parlare di Poincaré, Galois ed Abel, che ammirava molto, durante le sue lezioni ma subito dopo ci spaventava, dicendoci che non saremmo stati nessuno a meno che non avessimo realizzato qualcosa di importante entro i venticinque anni. C'era anche un motto che girava fra i cadetti dell'esercito secondo cui la vita migliore di un uomo è a venticinque anni. Che cosa dovevo fare? Non potevo immaginare cosa avrei fatto cinque anni dopo. Alla fine, decisi di fare comunque fisica, in parte perché pensavo che fosse più adatta e stimolante per me e in parte in seguito alla fama raggiunta da Yukawa.

Sono stato fortunato ad aver vissuto gli anni della guerra dopo i venticinque anni, ad aver svolto il servizio militare nella ricerca sui radar e ad aver potuto ritornare alla vita accademica ed essere stato introdotto alla fisica delle particelle dai miei compagni, al momento stesso in cui stavano lavorando con Tomonaga allo sviluppo della teoria di rinormalizzazione. Quindi, in conclusione, devo molto a mio padre, ai miei zii, agli amici e agli altri.

## COME SONO DIVENTATO UNO SCIENZIATO

*Roddam Narasimha*

Jawaharlal Nehru Centre for Advanced Scientific Research, Bangalore, India



© Cortesia di Roddam Narasimha

Tutto cominciò a casa. Mio padre fu uno dei primi laureati in materie scientifiche del suo villaggio. Dopo la laurea, proseguì gli studi sotto la guida del grande fisico indiano Meghanad Saha che allora insegnava ad Allahabad (oltre mille chilometri da casa). Conseguito il master, cominciò ad insegnare al Central College di Bangalore e, alla fine della sua carriera, si dedicò alla letteratura scientifica in Kannada, la lingua di questa parte dell'India. Non mi insegnò mai direttamente nozioni scientifiche, ma grazie al suo esempio e al suo comportamento (scientificamente moderno, socialmente liberale e culturalmente conservatore), imparai qualcosa di ancora più fondamentale: l'orgoglio. Mia madre interruppe gli studi all'età di dieci anni, ma leggeva molto ed era particolarmente erudita ed orgogliosa. Prima di andare a letto, nel recitare le preghiere che ci aveva insegnato, l'unica cosa che chiedevamo a Dio era di donarci intelligenza e conoscenza.

A scuola, ebbi la fortuna di avere degli insegnanti molto validi. Uno di loro riuscì addirittura a far venire in visita a scuola il Premio Nobel C.V. Raman, il più grande scienziato indiano del tempo. Egli parlava con tale fervore del suo lavoro che studenti ed insegnanti pendevano letteralmente dalle sue labbra. Il prof. KVR, l'insegnante che organizzò la visita di Raman, mi insegnò anche il valore della scrittura, sintetica ed onesta. Nei numerosi compiti in classe, spesso ci venivano poste domande del tipo "Quanti pianeti ci sono nel sistema solare?". Io ero solito rispondere che ce n'erano nove e venivo sempre rimproverato dai professori per non averli nominati. Ho sempre pensato che questi rimproveri fossero ingiusti, in quanto la domanda non chiedeva di citare i nomi dei pianeti. In una di queste situazioni, il prof. KVR mi diede ragione e nacque così tra noi un certo affetto e rispetto reciproco. Un altro insegnante, che sentivo particolarmente vicino, portava spesso noi studenti a prendere un caffè o uno spuntino e a fare due chiacchiere. Una volta, per caso, mi parlò di due libri: uno era *Lives of Great Scientists*, che mi aprì gli occhi sullo strano mondo intellettuale della scienza (occidentale) che trovai immediatamente affascinante; il secondo era una traduzione in lingua Kannada di *Alice nel Paese delle Meraviglie*, che mi piacque moltissimo. Come faceva il prof. BLA a sapere con certezza quali libri mi avrebbero entusiasmato?

Al momento di iscrivermi all'università, nel 1949, pensai seriamente di fare fisica, ma dovette rinunciarvi a causa della grande rivoluzione politica e sociale (non violenta) che stava

imperversando nel sud dell'India. Alla fine, mi iscrissi alla facoltà di ingegneria meccanica presso il Government Engineering College di Bangalore. In quegli anni, mi recai in visita all'Indian Institute of Science (IISc) e quest'esperienza ebbe un grande impatto su di me. All'ingresso del dipartimento di ingegneria aeronautica (che era appena stato inaugurato), si ergeva uno Spitfire della Seconda Guerra Mondiale, preso in prestito dall'aeronautica militare indiana. Fu il mio primo incontro ravvicinato con un velivolo e un nuovo mondo si aprì davanti ai miei occhi. Rimasi particolarmente colpito dalla grazia e dalla precisione dell'esterno dello Spitfire e dalle bellissime ali ellittiche; l'interno invece era una giungla di cavi, tubi, condotti, valvole, ecc. Era strabiliante che dietro quella graziosa struttura tutta curve e superfici (che rimandavano alla matematica), si nascondesse una tecnologia incredibilmente complessa e pensai con ammirazione a quelle persone straordinarie che evidentemente erano state esperte in entrambe le discipline.

Una volta ottenuta la laurea, volevo continuare gli studi di aeronautica, una materia non molto di moda a quel tempo. Su consiglio di mio padre, andai a parlare con un amico di famiglia che lavorava all'IISc e che bruscamente mi disse di non fare sciocchezze: avrei dovuto trovare lavoro nelle Ferrovie Indiane o alla Burmah Shell (equivalenti alle moderne grosse compagnie di software di Bangalore). Scoraggiato, tornai da mio padre che molto semplicemente mi chiese: "Allora, cosa vuoi fare?". Risposi che propendevo per l'aeronautica e lui mi disse: "Allora fallo!". Alla fine, quindi, una questione che pensavo avrebbe generato ore di discussione, fu risolta in due minuti. Cominciai a lavorare per l'Istituto Indiano per la Scienza, in cui, con vari incarichi, lavoro da circa cinquant'anni.

All'IISc, ancora una volta, mi trovai dinanzi ad un mondo totalmente nuovo quando conobbi il prof. Satish Dhawan, che portò nel campus una ventata d'aria fresca, essendo appena tornato in India dopo aver conseguito il dottorato al California Institute of Technology (Caltech). Aveva un atteggiamento molto informale, ma al tempo stesso era molto serio quando parlava di lavoro (esattamente l'opposto dei docenti dell'IISc). Come lo Spitfire, il suo laboratorio combinava scienza e tecnologia. Aveva un grande compressore che avviava le gallerie supersoniche da lui stesso costruite, ma per le misurazioni si usavano ancora le lenti e i galvanometri (l'era dell'elettronica era appena all'inizio). Il prof. Dhawan divenne una vera autorità scientifica in India e fondò un'organizzazione per la ricerca spaziale che si espanse così tanto da diventare un'impresa per lo sviluppo tecnologico di grande successo. Dhawan riuscì a conciliare il proprio impegno nei confronti della scienza considerata "alta" con un profondo amore per quella considerata meno "elevata". Da lui imparai a fare ricerca anche con attrezzature carenti. Il suo laboratorio era pieno di bellissimi "giocattoli", come li chiamava lui, e ognuno di noi aggiunse un piccolo contributo alla sua collezione, inclusa una semplice ma efficace macchina fotografica a cassetta del valore di un dollaro, per registrare velocemente le tracce osciloscopiche, alcune delle quali finirono in un articolo pubblicato sul *Journal of Fluid Mechanics*.

Passati due anni, il prof. Dhawan mi disse che, per avanzare negli studi, mi sarei dovuto trasferire a Caltech. Per quanto possa sembrare strano, a quel tempo non ero molto incline ad andare all'estero; probabilmente non mi sentivo a mio agio nel fare una scelta così "alla moda" in quegli anni, anche perché i miei amici di Bangalore, tutte persone molto brillanti, nutrivano un rispetto straordinario per chi decideva di rimanere a lavorare in campo scientifico in India, sebbene ciò significasse lavorare poco. Tuttavia, decisi di andare a Caltech e, una

volta arrivato, mi resi subito conto che il prof. Dhawan aveva avuto ragione ad insistere. Lavorai con Hans Liepmann, l'ex relatore del prof. Dhawan. Negli anni '50, Bangalore e Pasadena erano letteralmente agli antipodi, dal punto di vista geografico, scientifico, culturale ed economico e mi ci volle un anno per ambientarmi. I successivi cinque furono invece tra i più intensi della mia vita, perché il prof. Liepmann e Caltech mi introdussero con amicizia in un mondo tutto nuovo: quello della scienza internazionale ai limiti della conoscenza. Con generosità accolsero questo asiatico, con tutte le sue abitudini vegetariane e ci riuscirono talmente bene che Pasadena divenne la sua seconda casa, se non addirittura la prima.

Ad ogni modo, tornai in India alla fine del 1962 e, a parte alcune brevi permanenze all'estero, ritrovai a Bangalore la mia (prima) casa. In questi quarant'anni, ho sempre cercato di mantenere un certo equilibrio tra la ricerca e il miglioramento delle strutture scientifiche del mio paese e, sebbene vi siano stati diversi momenti difficili, rifarei esattamente le stesse scelte. Divenni presto un affermato esperto di fluidodinamica, sempre impegnato nei più importanti lavori di ricerca che Bangalore, con le sue strutture, permetteva di svolgere e laddove queste si dimostrarono carenti cercammo di costruirne di nuove. Si trattava spesso di un processo piuttosto lento, ma accadeva sempre che nel giro di pochi anni si formasse un gruppo di ottimi studenti ed assistenti che in breve tempo diventavano esperti di qualunque materia si stessero occupando. Era molto emozionante. La nostra ricerca verteva soprattutto sulle transizioni di flusso, come mi piace chiamarle. È risaputo che un il flusso di un fluido può essere laminare o turbolento, come si può facilmente osservare levando il tappo da una vasca da bagno colma d'acqua. Ad un tratto, il cambiamento da un tipo di flusso ad un altro cominciò ad interessarmi: esso avviene in maniera improvvisa (come quando il flusso, dopo essere passato sopra un piano, si restringe in un punto turbolento)? E se sì, quanto improvvisa? E se fosse graduale, quando e perché avverrebbe? Da turbolento, il flusso può tornare ad essere laminare? Questa transizione inversa era una bestia nera all'epoca e ricordo che molti esperti nel campo della dinamica dei fluidi in visita al mio laboratorio di Bangalore negli anni '60 e '70 affermarono di non poter credere alle mie teorie, benché i miei studenti ed io avessimo offerto elaborate misurazioni e convincenti motivazioni. Anche le onde d'urto (un altro tipo di transizione: da flusso supersonico a subsonico) mi interessavano molto e mi impegnarono per molti anni.

Tuttavia, negli anni '70 e '80 mi convinsi che i problemi di fluidodinamica più interessanti per uno scienziato indiano fossero i monsoni e dopo molti anni di sforzi, nel 1982, riuscimmo ad istituire un nuovo Centro per le Scienze Atmosferiche (e ora anche Oceaniche) all'interno dell'Istituto. Un gruppo di dinamici scienziati iniziò a studiare i monsoni nelle loro diverse caratteristiche e io stesso cominciai ad interessarmi alle nuvole, chiedendomi spesso perché quelle chiamate "cumuli" (così comuni nel cielo di Bangalore e di altre località tropicali) non si propagassero come la scia di fumo di un razzo ma invece assumessero la forma tondeggiante di un cavolfiore o quella longitudinale di una torre. Dopo molti tentativi andati a vuoto, finalmente riuscimmo a trovare un modo interessante di studiare i cirri, niente di meno che con l'utilizzo di un serbatoio d'acqua. È incredibile, ma iniettammo del calore in questa "nuvola d'acqua" passando corrente elettrica (aggiungendo acido nell'acqua per farle condurre il calore) per simulare il rilascio di calore latente nella nuvola vera. (Pensai allora che proprio per questo le nuvole erano diverse dal fumo). Grazie a questi esperimenti, riuscimmo a capire perché le nuvole assumessero quelle determinate forme. (Potrà sembrare strano, ma pare che

ciò abbia a che fare con un tipo di “subtransizione” piuttosto lenta, caratterizzata da una perdita di ordine parziale). Ricordo che una volta, da bambino, stavo guardando le nuvole quando un signore anziano un po’ scorbutico mi disse: “Ehi, tu, sognatore! Faresti meglio a guardare anche dove cammini qualche volta!”. Ma ho sempre continuato a guardare in alto; anche in laboratorio, mi diverto molto a riprodurre le nuvole.

Se guardo indietro, credo di essere stato molto fortunato ad avere avuto degli ottimi insegnanti che mi hanno aperto nuove porte e mostrato mondi affascinanti di cui non ero a conoscenza. Ho imparato inoltre che è molto divertente fare scelte impopolari.

## L'EMOZIONE DI FARE SCIENZA

*Jayant V. Narlikar*

Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics  
Pune, India



© Cortesia dell'IUCAA

In un periodo in cui l'aspetto puramente economico prevale sull'istruzione è diventato necessario affermare ciò che è ovvio: la scienza pura, motivata come è dalla sete di conoscenza, forma la base per la scienza e la tecnologia, il sostegno principale della nostra civiltà. Ma ancor più di questo è necessario che sia ribadito con forza che la scienza pura di oggi è l'estensione naturale degli antichissimi e perduranti sforzi degli intellettuali di comprendere i misteri della natura. Gli antichi saggi trascorrevano lunghi ed angoscianti periodi alla ricerca dell'illuminazione, col risultato di vivere poi un'esperienza estasiante al conseguimento dell'obiettivo. Gli scienziati provano momenti simili nella loro ricerca della verità. Angoscia, quando si cerca la soluzione

sfuggente di un problema, sulla cui esistenza non si nutrono dubbi. Estasi, quando poi la si trova. Cominciamo con un episodio dalla vita di Isaac Newton, il fondatore della fisica come la conosciamo oggi.

\*\*\*

Sono trascorsi più di 350 anni dalla sua nascita e il seguente episodio illustra come Isaac Newton fosse visto allora dai suoi contemporanei. Il fatto ebbe luogo nel 1696, in un periodo in cui Newton aveva cessato di esercitare l'attività di scienziato, essendo stato nominato Master of the Mint<sup>33</sup>. Uno scienziato tuttavia non smette mai di essere tale e qualcuno portò alla sua attenzione un problema di matematica proposto come sfida da un famoso matematico europeo, Johann Bernoulli. Erano più di sei mesi che tutti gli scienziati ne stavano cercando la soluzione.

Il problema può brevemente essere descritto così. Immaginate due punti A e B in un piano verticale con A ad un'altezza maggiore di quella di B. Collegate i punti con un filo metallico di forma qualunque. Lasciate scorrere una perlina da A a B senza attrito. Il quesito di Bernoulli era di trovare la forma da dare al filo in modo che il tempo di percorrenza della perlina fosse minimo. Se pensate che la soluzione sia il tratto di linea retta tra A e B, siete in errore. La risposta non è così diretta (non è un gioco di parole!) e come accennato sopra i migliori cervelli d'Europa non erano ancora riusciti a risolvere il problema.

<sup>33</sup> Importante carica governativa dell'epoca (*N.d.T.*)

Si narra che Newton vide il quesito una sera, al ritorno dal lavoro. Ne fu incuriosito e provò a risolverlo. Gli occorsero parecchie ore ma alle prime luci del mattino lo aveva risolto. La curva che risolve il problema è la brachistocrona. La risposta si trova utilizzando il metodo variazionale, un ramo nell'analisi matematica che Newton stesso aveva inventato. Avendo risolto il problema, Newton inviò la soluzione alla Royal Society, chiedendo al Presidente di pubblicarla e spedirla a Bernoulli, senza rivelare la sua identità. Quando Bernoulli vide la soluzione, capì tuttavia immediatamente chi ne fosse l'autore e, secondo quanto riferito, il suo commento fu: "Riconosco il leone dalla sua zampa".

Questo episodio illustra l'ansia e l'estasi che un problema può arrecare ad uno scienziato. Pur non praticando più un'attività scientifica regolare, la sfida ridestò lo scienziato in Newton, che, messosi al lavoro, non si fermò finché il problema non fu risolto. Voglio ora raccontare un altro episodio dalla vita di un grande scienziato.

\*\*\*

Nella prima parte della sua vita, Lord Kelvin era conosciuto con il suo nome di famiglia, Thomson. Questa storia parla di Thomson e di un altro giovane, Parkinson, i quali erano in competizione per chi ricevesse il voto più alto nei Mathematical Tripos<sup>34</sup> di Cambridge. Alla fine Parkinson risultò primo, Thomson secondo e poi dietro tutti gli altri studenti.

C'era una domanda particolarmente difficile a cui soltanto i due avevano risposto correttamente. L'esaminatore fu colpito dalla somiglianza delle loro risposte tanto da sospettare qualche inganno. Che uno dei due avesse copiato? Chiamò Parkinson per un colloquio.

"Dimmi, come sei riuscito a risolvere un problema così difficile?" gli chiese. "Occasionalmente leggo articoli di ricerca. Ho trovato una pubblicazione in cui l'autore aveva risolto questo problema. Perciò conoscevo già la soluzione". E diede i riferimenti dell'articolo.

L'esaminatore, che aveva preso il problema proprio da quello stesso articolo, ne fu impressionato. Si complimentò col ragazzo sia per essere andato oltre al programma d'insegnamento, sia per il suo interesse negli articoli scientifici. Congedandolo con una pacca sulla spalla, chiamò quindi Thomson e gli chiese piuttosto aggressivamente: "Vorrei sapere come hai risolto questo problema. Parkinson ha visto la soluzione in un articolo di ricerca. Non dirmi che anche lo hai letto anche tu".

"No signore!" rispose il futuro Lord Kelvin. "Sono io che ho scritto quell'articolo".

Nella ricerca scientifica ciò che conta è l'originalità. Oggi non sentiamo più parlare di Parkinson, anche se arrivò primo all'esame. Mentre il lavoro di Thomson ora si studia nei libri di testo.

Gli esempi di grandi scienziati come questi sono fonte di ispirazione per i nostri modesti sforzi. Lasciatemi tornare sulla Terra e condividere con voi le esperienze che mi portarono a scegliere la carriera scientifica. Ci sono episodi dei miei primi anni formativi che penso possano risultare interessanti anche per chi ora è uno studente.

---

<sup>34</sup> Esami noti per essere particolarmente difficili (*N.d.T.*)

Che mi piacesse la matematica e la scienza fu notato da mio padre, il quale mi fece conoscere gli aspetti divertenti della matematica, la sua ricchezza di aneddoti, enigmi e paradossi. Fece questo direttamente, oppure dandomi dei libri e incoraggiò me e mio fratello a fare esperimenti. La nostra casa nel campus universitario era abbastanza spaziosa cosicché costruì un laboratorio di chimica per me e per mio fratello.

A quei tempi era tradizione che gli scienziati in visita venissero ospitati nella casa del professore dell'università locale. Fu così che la nostra casa fu frequentata da N.R. Sen, Ram Behari, A.C. Banerjee e Vaidyanathaswamy. Anche se non capivo di cosa parlassero, la presenza di tali personalità creò un'atmosfera tutta particolare, per cui iniziai a vedere la matematica sotto una luce speciale.

Ci fu tuttavia un evento cruciale che mi aiutò a sviluppare uno spirito competitivo. Mio zio materno Moreswar Huzurbazar, o Morumama come io ero solito chiamarlo, venne a vivere con noi per conseguire il master in matematica. Era uno studente brillante, che aveva raggiunto ottimi risultati all'esame di laurea dell'Università di Bombay. [Divenne professore ed alla fine direttore dell'Istituto per la Scienza di Bombay].

Morumama scoprì che mi divertivo con la matematica. Notò anche che mio padre aveva fatto costruire due lavagne per me e per mio fratello, in modo che potessimo scrivere o disegnare quello che volevamo e trovò un nuovo modo per usarle: ogni tanto ci scriveva su un problema matematico o un enigma e poi aggiungeva "Problema difficile per JVN". Il problema rimaneva sulla lavagna finché non lo risolvevo oppure mi arrendevo e chiedevo la risposta (il che, sono contento di dirlo, accadeva piuttosto raramente).

I problemi di Morumama andavano certamente al di là del mio programma scolastico: richiedevano ragionamento analitico e "soluzioni ingegnose" che mi avrebbero illuminato su alcuni aspetti nascosti della matematica. Il mio solo rammarico è di non averli conservati. Ma per quanto mi riguarda, sviluppai una propensione ad accettare le sfide poste dai problemi difficili.

Forse dovrei anche accennare che libri quali *Men of Mathematics*, *The World of Mathematics* e *Living Biographies of Great Scientists* hanno svolto un ruolo chiave nel portare alla mia mente, facilmente influenzabile, l'emozione e le frustrazioni dei geni creativi. Gli aneddoti raccontati all'inizio di questo articolo ci dicono che la scienza non è un grigia materia da imparare a memoria, ma un teatro di avventure. È illuminante conoscere l'orgoglio ed i pregiudizi dei grandi scienziati e imparare che anche loro occasionalmente hanno fatto errori. Ma la scienza ha quella tendenza ad autocorreggersi che conduce alla fine alla risposta giusta. Tutto questo ebbe una forte influenza nel farmi optare per la carriera scientifica.

Fui fortunato ad avere come relatore per il mio dottorato a Cambridge, l'illustre scienziato Fred Hoyle. Anche se non avevo esperienza di ricerca quando iniziai a lavorare con lui, ebbi sempre l'impressione che discutesse di scienza con me come con i suoi pari. Inoltre, chiedeva la mia opinione ogni volta che gli veniva un'idea e, se avevo qualche suggerimento, lo ascoltava con attenzione. Così quando all'inizio del 1961, dopo appena sei mesi di lavoro, scoppiò la controversia Hoyle-Ryle, fui attirato nella discussione come collaboratore di Hoyle. In questa controversia, Martin Ryle, il capo della radio astronomia a Cambridge, sosteneva

che i suoi dati confutavano la teoria cosmologica dello stato stazionario proposta da Hoyle. La teoria dello stato stazionario afferma che l'universo non varia nelle proprietà a grandi scale e non ha né un inizio né una fine temporale. Fred credeva che ci fossero parecchie scappatoie nei dati di Ryle e mi chiese di lavorare ad un esempio da contrapporre alla sua affermazione.

Ricordo di aver lavorato contro il tempo per perfezionare il nostro esempio in modo da essere pronto per la presentazione alla Royal Astronomical Society a Londra, dove era previsto che Ryle annunciasse i suoi risultati. Ultimammo i lavori in tempo. Tuttavia, Hoyle scoprì che un precedente impegno gli avrebbe impedito di presenziare alla seduta della RAS e mi chiese di presentare il lavoro. Ero sbalordito. Come potevo io, un allievo inesperto, affrontare un illustre scienziato come Martin Ryle in un dibattito pubblico? Tuttavia, Fred mi spiegò che nella scienza non è il prestigio che conta, quanto la sicurezza della correttezza del proprio lavoro. Mi insegnò come avrei dovuto presentare il mio lavoro nel breve tempo assegnatomi e mi augurò buona fortuna. Me la cavai splendidamente.

Questa esperienza mi diede molta fiducia. Un giovane allievo può imparare molto se gli viene offerta la responsabilità di difendere il proprio lavoro. Grazie a questo episodio capii che la ricerca scientifica può essere anche molto divertente. A differenza dei problemi di Morumama le cui soluzioni erano note, qui si brancola nell'ignoto e ci si basa sui fatti e sul ragionamento per decidere chi può aver ragione. Per tutta la mia vita scientifica è questo sentimento che mi ha sostenuto nei momenti difficili in cui cercavo una risposta, sia nel mio lavoro in cosmologia, in gravità, in elettrodinamica sia in astrofisica teorica. Gli sforzi sono a volte, ma non sempre, ripagati da momenti di completo appagamento per il successo raggiunto. Non sempre tuttavia, perché la scienza è un gioco senza fine con la natura, nel quale qualche volta si perde, qualche volta si vince.

Vorrei chiudere questo contributo, raccontando un breve episodio in cui mi fu offerto di intraprendere un'altra carriera. Quando nel 1957, prima di partire per Cambridge per i Mathematical Tripos, feci una visita al signor R.P. Paranjpye, che era stato nominato Senior Wrangler dell'annata 1899 a Cambridge, questi mi chiese: "Dopo gli esami andrai allo IAS?" A quei tempi, molti pensavano che la laurea a Cambridge fosse un buon biglietto da visita per il Servizio Amministrativo Indiano (IAS). Quando il grande RPP completò gli studi a Cambridge, ci si attendeva che entrasse a far parte dell'Amministrazione Indiana. Ma egli optò per la carriera accademica.

La mia risposta al sig. Paranjpye fu abbastanza ferma: "No signore, desidero intraprendere una carriera nell'insegnamento e nella ricerca. La trovo più emozionante". Non ho mai avuto rimpianti.

---

**COMBINARE LA MATEMATICA CON LA FISICA**


---

*Sergey P. Novikov*

University of Maryland, USA



© Cortesia di Sergey Novikov

Sergey Novikov è un “Distinguished University Professor”<sup>35</sup> alla University of Maryland, College Park, negli Stati Uniti, presso il Dipartimento di Matematica e l'Istituto per le Scienze e Tecnologie Fisiche dal 1996. Collabora attivamente con parecchie istituzioni russe, è membro dell'Accademia delle Scienze Russa, socio straniero dell'Accademia Nazionale delle Scienze degli Stati Uniti, socio straniero dell'Accademia dei Lincei, membro della Pontificia Accademia delle Scienze, membro dell'Accademia Europea, membro dell'Accademia Europea delle Scienze di Bruxelles, membro onorario della Società di Matematica di Londra, membro dell'Accademia Serba delle Arti e delle Scienze. Ha inoltre ricevuto un dottorato honoris causa dall'Università di Atene e dall'Università di Tel Aviv. Gli è stata conferita la medaglia Fields dell'Unione Matematica Internazionale, il Premio Lenin dell'URSS e il Premio Lobachevski dell'Accademia delle Scienze dell'URSS. Novikov successe a Kolmogorov alla presidenza della Società di Matematica di Mosca nel 1985 e rimase in carica per

11 anni, lasciando questa posizione ad Arnold nel 1996. Questa Società ha svolto un ruolo fondamentale come luogo di incontro centrale per i matematici di Mosca nel secolo XX. Novikov è stato relatore di oltre 35 dottorandi, molti dei quali sono diventati scienziati eccezionali.

Novikov fa parte di una famiglia scientificamente illustre, i Novikov-Keldysh. Suo padre era Petr Novikov (1901-1975), famoso per i suoi classici lavori sulla teoria dei gruppi, sulla logica matematica, sulla teoria descrittiva degli insiemi e sui problemi inversi di gravità newtoniana. La madre di Sergey, Liudmila Keldysh (1904-1976), era professore ordinario di matematica ed una nota esperta della teoria descrittiva degli insiemi e della topologia geometrica. Era una donna eccezionale, dotata di grande energia, che utilizzò per allevare ed istruire cinque figli, aiutare il suo talentoso ma cagionevole marito e per combinare questo duro lavoro con un attivo impegno scientifico. Fu certamente fondamentale il suo contributo se il marito, il fratello e due figli divennero importanti scienziati in aree differenti della matematica e della fisica. Verso la fine degli anni venti aiutò il fratello più giovane Mstislav

---

<sup>35</sup> Titolo assegnato ai professori universitari distintisi per la qualità del loro lavoro; simile al “Professore emerito” italiano. (N.d.T.)

Keldysh, che aveva un enorme talento per la matematica, a diventare un matematico, contro la volontà del padre Vsevolod Keldysh (1878-1965) che desiderava fortemente che il figlio studiasse ingegneria (era un illustre ingegnere civile egli stesso, menzionato nel libro di Nikita Khrushchev). Alla fine M. Keldysh (1911-1977) divenne un eminente matematico applicato in URSS e fu responsabile della costruzione dei primi "sputnik" in qualità di Teorico Principale, secondo la terminologia giornalistica dei tardi anni '50 e '60. I Bolscevichi nascosero i veri nomi di queste persone alla comunità internazionale, ma molti matematici e fisici di Mosca sapevano di chi si trattasse. Dopo gli sputnik, fu nominato direttore dell'Accademia delle Scienze dell'Unione Sovietica durante gli anni 1961-1975. Il fratello maggiore di Sergey, Leonid Keldysh (nato nel 1931), è un famoso fisico dello stato solido. Non c'erano musicisti, artisti od attori nella famiglia; nessuno desiderava una carriera nel partito comunista, così la scienza fu una scelta molto naturale e semplice. Alla scuola media e alla scuola superiore Sergey notò che riusciva facilmente ad imparare la matematica e a risolvere efficacemente i problemi. Tuttavia esitò, pensando che ci fossero già troppi matematici in famiglia. Decise di scegliere la matematica come carriera professionale nel 1955, entrando nel Dipartimento di Matematica del Math/Mech College dell'Università Statale di Mosca, i cui direttori erano i famosi matematici A. Kolmogorov (1903-1987) ed I. Petrovski (1901-1973). Era la miglior università di matematica del mondo in quel periodo e tutta la matematica lì fu unificata. La scuola di Mosca godeva di un'importante tradizione e capacità: quella di attirare giovani studenti e metterli fin da subito in condizioni di sviluppare la loro creatività scientifica. Kolmogorov ebbe particolare successo: alcuni dei suoi allievi di quella generazione, cioè V. Arnold (nato nel 1937) e Ya. Il Sinai (nato nel 1935), divennero famosi molto presto lavorando con lui.

Dopo aver seguito vari tipi di corsi durante gli anni 1955/56, S. Novikov decise di scegliere topologia algebrica: c'erano voci che questa disciplina avesse compiuto grandi passi avanti in occidente, ma ciò non era accaduto nella scuola russa. Questo settore era abbastanza lontano dagli altri campi della matematica in cui erano impegnati gli altri membri della sua famiglia (come desiderava). Intelligenti topologi della generazione più giovane, come per esempio il professor M. Postnikov (nato nel 1927) ed A. Schwarz (nato nel 1934), che aveva appena conseguito il dottorato, iniziarono ad insegnare la nuova topologia. S. Novikov fu affascinato da questa disciplina e partecipò ai corsi e ai seminari nel 1956. Tuttavia, solo dopo un periodo molto duro in cui apprese le recenti scoperte fatte dai migliori topologi occidentali, fu in grado di iniziare la sua ricerca in topologia. Oltre a questo, la cortina di ferro sovietica divenne più trasparente verso la fine degli anni cinquanta. Alcuni importanti scienziati occidentali (come J. Milnor, F. Hirzebruch, S. Smale, H. Cartan, M. Atiyah e I. Singer) si recarono in vista in Unione Sovietica ed aiutarono enormemente i giovani scienziati russi, particolarmente Novikov, all'inizio degli anni sessanta.

Novikov ricevette il premio Lenin dell'URSS nel 1967 e la medaglia Fields dell'Unione Matematica Internazionale nel 1970, i più alti riconoscimenti scientifici (non gli fu permesso di presenziare alla cerimonia di premiazione a Nizza come punizione per una lettera che difendeva un dissidente che fu arrestato e mandato in manicomio). Il suo teorema topologico più profondo (1965) stabilisce l'invarianza topologica di determinate espressioni analitiche costruite con la curvatura di Riemannian (le cosiddette classi di Pontryagin). Queste quantità entrano praticamente in tutte le formule importanti dell'analisi e della geometria sulle varietà.

Egli costruì il metodo efficace di classificazione delle varietà multidimensionali (la Teoria di Browder-Novikov, 1961-64) e sviluppò una nuova tecnica algebrica su come calcolare cruciali quantità topologiche quali i gruppi di omotopia ed i cobordismi. Sotto l'influenza dei suoi amici che iniziarono a studiare la nuova teoria dei sistemi dinamici "iperbolici" (quali Smale, Anosov e Arnold), Novikov costruì una teoria qualitativa di foliazioni degli spazi tridimensionali attraverso superfici bidimensionali (1964/65). Questa teoria è diventata molto nota nella comunità matematica. Partito come studente universitario alla Algebra Chair dell'università, Novikov divenne dottorando al Dipartimento di ODE all'Istituto Steklov di Matematica a Mosca. Nel 1964 fu invitato a lavorare permanentemente in questo istituto, al Dipartimento di Algebra, dove tutti lavoravano alla teoria algebrica dei numeri e/o alla geometria algebrica, ma volevano imparare elementi di topologia algebrica e Novikov sviluppò una vasta collaborazione con loro. All'inizio degli anni sessanta iniziò ad interessarsi all'attività dei suoi amici che si occupavano di sistemi dinamici e di meccanica classica e frequentò il Seminario di Arnold. Dal 1963 fu in stretto contatto con persone che lavoravano all'analisi funzionale e al PDE<sup>36</sup>, partecipando al famoso Seminario di Gelfand. La topologia algebrica divenne sempre più popolare nella comunità matematica degli anni sessanta. Parecchie aree della matematica cominciarono ad usare idee e risultati di topologia.

Tuttavia, verso la fine degli anni sessanta egli cominciò a sentire un po' di malcontento: perché le comunità moderne di matematica pura ed applicata si stavano distaccando dalla fisica teorica moderna, la più grande scienza teorica del XX secolo? Certamente quest'area usava (ed a volte produceva) molte idee matematiche nuove. Il suo linguaggio era particolarmente adatto per un uso efficace della matematica, per la formulazione e la comprensione razionale delle incredibili leggi quantistiche o relativistiche della Natura. Si era dimostrata ricca di applicazioni pratiche, tanto da cambiare la nostra società per sempre. Verso la fine degli anni sessanta molti fisici iniziarono a ritenere che in condizioni estreme (come alta energia, grandi campi magnetici, gravità forte, temperature basse) la topologia fosse indispensabile. Novikov impiegò parecchi anni ad imparare la fisica teorica. In 1971 cominciò a lavorare all'Istituto Landau per la Fisica Teorica, al fine di insegnare l'applicazione della nuova matematica, come la topologia ed i sistemi dinamici. Fisici ben noti negli anni sessanta realizzarono parecchi ed importanti lavori, cui contribuirono in maniera significativa Novikov ed il suo gruppo. Inoltre, egli cercò di ampliare la propria ricerca: prestò particolare attenzione a problemi concreti le cui soluzioni richiedevano l'uso di una matematica moderna (come la topologia, i sistemi dinamici, la geometria algebrica e riemanniana), insolita per la comunità dei fisici matematici e teorici. Una delle scoperte più importanti di Novikov avvenne risolvendo il problema al contorno di tipo periodico dei famosi sistemi solitonici (come per esempio i KdV). Il comportamento insolito delle "soluzioni di tipo solitonico" localizzate aveva già condotto alla famosa trasformata inversa di scattering verso la fine degli anni sessanta, ma nessuno sapeva che cosa fare con il problema periodico. Le famose "soluzioni a gap finito" inventate da Novikov nel 1974 portarono al primo grande uso combinato dei sistemi dinamici, della geometria algebrica e dell'analisi sulle superfici di Riemann nei problemi moderni sulle PDE. Tutto il suo gruppo e molti altri scienziati parteciparono allo sviluppo di queste idee importanti per le PDE non lineari e per la teoria spettrale degli operatori periodici e per la meccanica quantistica. Un grosso programma di indagini analitiche

<sup>36</sup> Partial Differential Equation – Equazione differenziale alle derivate parziali (*N.d.T*)

e numeriche sono state realizzate da lui e dal suo gruppo in quest'area. Un'altra serie di successi di Novikov fu la scoperta di nuovi fenomeni topologici nel calcolo delle variazioni e nella teoria di campo nel 1981 (la teoria di Morse-Novikov): egli osservò che in parecchi sistemi fisici classici e moderni, quali la parte superiore di un campo di gravità costante, la particella carica nel campo di un monopolo magnetico di Dirac e il suo analogo nella teoria di campo, il funzionale d'azione ha in effetti, valori multipli (cioè è una uno-forma chiusa ma non esatta sullo spazio dei campi, come la coordinata angolare sul piano). Questo portò alla "quantizzazione topologica delle costanti di accoppiamento" per le lagrangiane di Wess-Zumino-Novikov-Witten e generò nuove idee nella topologia delle varietà e nel calcolo delle variazioni per traiettorie periodiche. Recentemente Novikov ha attivamente lavorato con il suo gruppo per costruire alcune notevoli discretizzazioni di diversi sistemi fondamentali come le equazioni di Schrödinger a due dimensioni e la famosa equazione di Cauchy-Riemann, rivelando una profonda connessione della Teoria dello Scattering Quantistica sui Grafi con la Geometria Simplettica, studiando gli elettroni che si muovono nei metalli normali a singolo cristallo a tre dimensioni con superfici di Fermi complicate (come l'oro) all'interno di forti campi magnetici (tipo 100 Tesla). Questa teoria predice alcuni fenomeni topologici non banali nella conducibilità elettrica.

## È TUTTA UNA QUESTIONE DI CURIOSITÀ

*Paul M. Nurse*

The Rockefeller University, USA



© Archivio Fotografico ICTP

Il mio interesse nei riguardi della scienza nacque a seguito della mia incontenibile curiosità sul funzionamento del mondo. Me ne accorsi per la prima volta mentre stavo camminando per andare a scuola, all'età di nove o dieci anni: notai che, in una stessa pianta, le foglie che crescevano all'ombra sembravano più grandi di quelle che crescevano alla luce del sole. Ci pensai su e, pur non capendo tutto il processo, pensai avesse a che fare con il fatto che le foglie che crescono all'ombra non godono di tanta luce e quindi devono essere più grandi. In seguito, mi resi conto che il mondo era pieno di domande alle quali qualcuno sapeva rispondere, ma io sicuramente no. Mi chiedevo, ad esempio, come facessero le mosche a rimanere in aria con il solo movimento delle ali, come potesse uno stesso animale essere prima bruco e poi farfalla, perché differenti sostanze chimiche avessero diversi colori e come si facesse a sapere che tutte le stelle erano a distanze diverse dalla terra, e così via. Ancora oggi mi pongo domande scientifiche, sebbene ora siano più complesse, o per lo meno è più complesso il linguaggio che uso per formularle. Se penso, quindi, a come si

possa mantenere vivo l'interesse per la scienza, credo che due siano i punti fondamentali: il primo è mantenere viva la curiosità nei confronti del mondo e il secondo è essere determinati nel trovare spiegazioni per ciò che vediamo. Senza la curiosità e il desiderio di trovare le risposte, la passione per la scienza è presto persa.

Fin dove arrivò la mia curiosità? Fino al desiderio di conoscere che cosa controlla la divisione delle cellule in due. Tutti gli organismi viventi, inclusi noi esseri umani, sono fatti di cellule. La cellula è l'unità alla base della vita. Le cellule si riproducono tramite fissione binaria ed è proprio questo processo di divisione che sta alla base della crescita e della riproduzione di tutti gli esseri viventi. Quando in questo processo vi è un errore, può insorgere una malattia, in particolare il cancro. Ho studiato questo problema usando un organismo monocellulare, il lievito, simile a quello usato per fare il pane, la birra e il vino. Il lievito è molto semplice e cresce rapidamente; lo studio può perciò essere svolto in breve tempo. I miei colleghi ed io trovammo un piccolo sottogruppo di geni che controllava la divisione delle cellule del lievito. In seguito, capimmo come lavorano i geni, ossia come facevano a "dividere" una cellula. Risolto questo problema, ci chiedemmo se lo stesso processo potesse funzionare in altre cellule, incluse quelle del corpo umano. Così, riuscimmo a dimostrare che

gli stessi geni, lavorando più o meno allo stesso modo, controllano anche la divisione delle cellule umane. Dato che il lievito è una sostanza molto semplice e l'organismo umano molto complesso, è possibile che nella maggior parte degli organismi viventi siano gli stessi geni a controllare la divisione cellulare.

In tutto questo lavoro sono stato guidato dalla curiosità e dal bisogno di rispondere ad una domanda sulla divisione delle cellule. Allo stesso modo in cui, da bambino, riflettevo sulla grandezza delle foglie mentre andavo a scuola.

## FISICA: ESPLORARE L'UNIVERSO

*Douglas D. Osheroff*  
Stanford University, USA



© Cortesia di Linda A. Cicero

Sono cresciuto ad Aberdeen, Washington, una comunità di boscaioli nella zona nord-occidentale della costa pacifica. I miei quattro fratelli ed io eravamo soliti fare passeggiate lungo strade deserte che si snodavano nelle distese immense di abeti tutt'intorno ad Aberdeen, facendo finta di essere i primi esploratori a mettere piede in queste sconfinite foreste! Grazie alla fisica, questo senso d'avventura non mi ha mai abbandonato.

Penso che la mia passione per la fisica sia nata all'età di sei anni, quando smontai il mio trenino elettrico in modo da poter giocare con il motore interno. Un elemento cruciale nel mio graduale cammino verso la carriera scientifica fu che i miei genitori non mi sgridarono per quello che avevo fatto, ma anzi mio padre trovò addirittura il tempo per mostrarmi come funzionasse il motore. Sembrava affascinato dal mio stupore. Da quel momento, ogni tanto mi portava a casa oggetti che pensava potessero suscitare il mio interesse, come scatole di magneti

della compagnia elettrica, e scatole di pezzi di ricambio della compagnia telefonica. Quando avevo otto anni, mi regalò la macchina fotografica che aveva usato da bambino: in meno di un'ora anche quella dovette soccombere alla mia curiosità. Dopo questo regalo mio padre mi portò un orologio meccanico con un set di cacciaviti per gioiellieri, proponendomi di smontarlo e poi di ricostruirlo. Sono stati questi piccoli episodi educativi a tenere vivo il mio interesse per la scienza.

Alle elementari ho imparato pochissimo di scienza, eccetto quello che era contenuto nella rivista settimanale della scuola. Mi ricordo di avere studiato qualcosa sui fononi. Alle medie, invece, fu diverso. Lì abbiamo fatto due anni di educazione alla salute e scienze, seguiti da un altro intero anno di sole scienze. Giravano voci che il mio insegnante, Mr. Miller, picchiasse gli studenti che disturbavano le sue lezioni e ne ero quindi molto intimorito. Una volta a settimana, ci faceva vedere delle sequenze cinematografiche e poi ci sottoponeva un test. Durante il primo test, ero così spaventato che riuscii a mala pena a scrivere il mio nome sul foglio. Eppure quando ci restituì la prova, il professore mi disse che era certo che io potessi fare meglio e mi chiese se avessi bisogno di aiuto. Con quel gesto aveva già fatto tanto, sebbene si fosse solo mostrato gentile ed interessato. Nei due anni successivi, nessuno

studente delle 5 classi di Mr. Miller riuscì mai a totalizzare un punteggio più alto o pari al mio in nessuno di quei test.

Alle superiori fu il mio professore di chimica ad avere un grande impatto sul mio modo di vedere la scienza. Mr. Hock era stato uno studente di dottorato in chimica, e spiegava alle sue classi come si potesse studiare la natura ponendo le domande giuste e trovando le risposte attraverso gli esperimenti. Era un approccio molto diverso dal mio armeggiare con la corrente ad alta tensione e polvere da sparo, ma ugualmente emozionante. Devo tuttavia ammettere che pochi dei miei compagni di classe apprezzarono l'impegno di Mr. Hock.

Frequentai Caltech<sup>37</sup> al college ed ebbi la fortuna di seguire le lezioni del professor Richard Feynman quando egli teneva il corso di introduzione alla fisica. Incredibile, una persona così brillante che impiega il suo tempo con gli studenti del primo e del secondo anno! Molti anni dopo, quando mi venne offerta la cattedra a Caltech, lo ringraziai per i suoi ottimi insegnamenti. Al penultimo anno di università cominciai a perdere interesse per la laurea in fisica che mi sembrava quasi come un insieme di problemi senza fine che non mi divertiva risolvere. Cercavo mille scuse per evitare questi problemi ed i miei voti cominciarono ad abbassarsi. In seguito, proprio mentre vacillavo tra una possibile carriera ed un probabile fallimento, il professor Gerry Neugebauer mi invitò a lavorare nel suo gruppo di ricerca di astrofisica. Di lì a poco capii che la ricerca era molto diversa dai problemi. Bisogna sempre fare calcoli, ma c'è la *voglia di farli*.

Nella primavera del 1967 mi laureai in fisica a Caltech. Probabilmente la cosa più importante che imparai non erano le nozioni di fisica, bensì che gli astrofisici non fanno esperimenti ma costruiscono solamente strumenti e fanno osservazioni. Essi si pongono le stesse domande che Mr. Hock poneva ai suoi studenti di chimica delle superiori, ma non trovano le risposte attraverso esperimenti, ma tramite osservazioni. Io volevo occuparmi di esperimenti. Volevo avere un certo controllo sui sistemi che studiavo e carpirne i segreti! Così, dall'astrofisica passai alla fisica della materia condensata.

Verso la fine del 1967 andai alla Cornell University per gli studi post-laurea. Era un periodo favoloso, dato che attorno a me succedevano tantissime cose. Frequentai il corso di meccanica quantistica con Ken Wilson il quale stava cercando di imparare il più possibile sui sistemi con transizioni di fase di secondo ordine, così da poter applicare le idee della rinormalizzazione, sviluppate dai teorici delle particelle, ai sistemi a stato solido; un contributo che gli valse il premio Nobel. Tuttavia furono due seminari sullo stato solido che più incisero su di me. Entrambi trattavano dei nuovi sistemi di raffreddamento che mi sembrava offrissero agli scienziati la possibilità di studiare la natura in un modo del tutto nuovo e singolare. Quando ero ancora al mio primo anno a Cornell, incominciai a costruire uno di questi meccanismi, una cella frigorifera a diluizione di  $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ , capace di raffreddare oggetti ad una temperatura superiore di appena 0,015 gradi (Kelvin) allo zero assoluto. L'altro congegno, chiamato cella frigorifera di Pomeranchuk, dal teorico russo che aveva per primo suggerito questo strumento, si pensava potesse raggiungere bassissime temperature (0,002 Kelvin). Progettai la mia cella frigorifera di Pomeranchuk nell'inverno del mio secondo anno di studi, nel letto di un ospedale dove ero ricoverato per un intervento al ginocchio dovuto ad

---

<sup>37</sup> California Institute of Technology (*N.d.T.*)

un grave incidente di sci. In meno di tre anni avrei usato questi due apparecchi per scoprire tre fasi superfluide dell'  $^3\text{He}$  liquido. Queste fasi sono analoghi neutri della superconduttività, ma in questi casi le coppie di Cooper che formano il condensato macroscopico superfluido hanno gradi di libertà interni, di spin e momento angolare, che rendono il loro comportamento molto più complesso. Questi furono i primi esempi conosciuti di stati BCS "non convenzionali", in questo senso simili ai superconduttori ad alte temperature che sarebbero stati scoperti 15 anni dopo. Fu per questa scoperta che i miei due professori ed io vincemmo il Premio Nobel per la Fisica nel 1996.

Nella mia carriera sono riuscito a scoprire e a comprendere rare e strane forme di ordine in natura. Queste includono le tre fasi superfluide dell'  $^3\text{He}$  liquido, due fasi ordinate dello spin nucleare dell'  $^3\text{He}$  solido, che servono da sistemi magnetici modello per la semplicità delle interazioni che conducono all'ordine; e un fenomeno chiamato "localizzazione debole" in cui un debole disordine conduce ad un aumento della resistenza elettrica nei conduttori quando la temperatura diminuisce. Sto studiando anche le proprietà dei vetri, tra i sistemi più "disordinati" in natura, ad una temperatura vicina allo zero assoluto e perfino questi mostrano una forma di ordine a temperature molto basse. Per me la fisica non è solo una serie di conoscenze né un modo di guardare alle cose, ma è una continua ricerca di come si comporta ed evolve l'universo. La fisica è l'esplorazione del nostro universo. Finché continuerò a pormi delle domande alle quali non vi sono risposte e finché continuerò poi a trovarle tramite l'esperimento, sarò sempre un esploratore.

## LA GIOIA DI ESSERE UNO SCIENZIATO

*Jacob Palis*

IMPA, Brazil



© Cortesia di Jacob Palis

Probabilmente la scienza mi ha attratto già ad una giovane età, senza però che ne fossi consapevole. Quando ero piccolo, si sentiva parlare molto delle professioni del medico, dell'ingegnere e dell'avvocato, categorie tutte rappresentate nella mia famiglia, ma non della professione di scienziato. Sin dai miei primi giorni di scuola mi piaceva giocare con i numeri e risolvere problemi che implicavano ragionamenti matematici elementari. Ricordo anche di essere stato molto felice quando parlavo con gli altri compagni e spiegavo loro tutto quello che sapevo delle lezioni, dei libri di testo, dei compiti per casa e delle verifiche.

In seguito, quando frequentavo ancora la scuola superiore, alcuni miei compagni di classe ed io eravamo addirittura invitati di tanto in tanto dagli insegnanti a discutere alla lavagna alcuni problemi. Era un'atmosfera molto stimolante, resa ancora più interessante dalla presenza di alcuni insegnanti stranieri che, durante il periodo della guerra e del dopoguerra, dall'Europa erano emigrati in Brasile, in città anche di

media grandezza come la mia. Certamente l'atmosfera e la competenza degli insegnanti, sia brasiliani che stranieri, erano e sono tuttora determinanti per la formazione degli studenti di qualunque età.

Quando, a sedici anni, andai a Rio per prepararmi ad entrare all'università, ero molto entusiasta e ricordo che un compagno di classe e qualche insegnante mi incoraggiarono affinché mi iscrivessi a matematica o a fisica. A Rio le mie conoscenze aumentarono considerevolmente, ma continuavo a trovare strana l'idea di iscrivermi a matematica, perché la ricerca di frontiera in matematica, fisica e chimica era condotta alla facoltà di ingegneria e "certamente" ad un livello più alto che alle facoltà di matematica e fisica. Mi iscrissi così ad ingegneria. Ricordo che durante i corsi ponevo molte domande ai miei insegnanti e lentamente, ma costantemente, crebbe in me l'idea di approfondire la matematica e la fisica; iniziai quindi a studiarle. Conseguii la laurea in ingegneria con voti molto alti, e andando contro i desideri della mia famiglia, decisi di continuare gli studi con un dottorato di ricerca in matematica e incominciai ad accarezzare l'idea di diventare uno scienziato. E così...

Ai giovani talenti desidero dire che perseguire i miei interessi mi ha reso una persona più felice! Mi sento molto più impegnato a favore della nascita di una società migliore, più equa sia socialmente che economicamente, in Brasile ma anche negli altri Paesi. La scienza e la

tecnologia dettano il passo del cambiamento in tutto il mondo, creando nuove economie basate sulle conoscenze. Oggi, in questo contesto, la formazione scientifica permette di adattarsi con maggiore facilità alle innovazioni tecnologiche e di contribuire alle innovazioni stesse, un'emozione indescrivibile. Questo è particolarmente importante per i giovani, in un'epoca in cui nascono e scompaiono professioni in moltissimi campi. In questo momento, le industrie preferiscono assumere matematici, fisici, chimici, biologi ed ingegneri, indipendentemente dalla loro specializzazione. I giovani particolarmente dotati intellettualmente, quindi, non devono aver paura del futuro e temere per il benessere della loro famiglia, se intraprendono con coraggio l'intrigante percorso della Scienza.

La mia esperienza e le mie convinzioni sopra esposte mi inducono a parlare di una delle più importanti istituzioni mondiali, l'*Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics* (ICTP). Da quaranta anni questo istituto promuove ricerca di alto livello e attività di formazione in un'ampia gamma di settori della fisica teorica e della matematica, realizzando così il sogno e la grande aspirazione del suo fondatore, Abdus Salam, vincitore di un premio Nobel. Le attività di ricerca riguardano anche altri campi nei quali la fisica e la matematica hanno un ruolo analitico fondamentale. L'istituto, conformemente agli obiettivi per cui fu creato, opera soprattutto a favore degli scienziati provenienti da paesi in via di sviluppo, ma non solo. Infatti, ci sono campi in cui il Centro Internazionale di Fisica Teorica ha dato notevoli contributi, permettendone lo sviluppo su scala mondiale.

Nel corso degli anni l'ICTP è diventato un punto di riferimento fondamentale per la promozione della ricerca scientifica nei paesi in via di sviluppo, specialmente nei settori della matematica e della fisica. Oggi, nell'età del progresso, dobbiamo impegnarci più che mai per contribuire, da un lato, a rafforzare il ruolo dell'Istituto e, dall'altro, a portare la sua immagine nelle nostre nazioni, in modo da attirare giovani scienziati di grande talento che possano lavorare al benessere della nostra società.

Allo stesso tempo, l'ICTP è un simbolo della soddisfazione che deriva dalla professione di scienziato. Il Centro voleva essere ed effettivamente è il luogo di lavoro ideale per gli scienziati di tutto il mondo, anche per quelli provenienti dai paesi più poveri. Con il generoso sostegno della città di Trieste, del Governo Italiano, dell'UNESCO e della Commissione Internazionale per l'Energia Atomica e di molti altri enti ed istituzioni, è diventato una grandiosa struttura per la ricerca scientifica, composto di edifici con una vista meravigliosa sul Mare Adriatico ed un'atmosfera di ricerca molto stimolante. Esso rappresenta, su scala globale, il microcosmo che ho descritto all'inizio. E che cosa posso dire dei pochi insegnanti stranieri nel mio microcosmo di un tempo? Credo che ora siamo tutti parte di una comunità senza confini, impegnati nello sforzo comune di contribuire all'avanzamento della scienza per il progresso dell'umanità e l'apertura dello spirito.

## FARE SCIENZA SPERIMENTALE

*Martin M. Perl*

Stanford Linear Accelerator Center, USA



© Cortesia dello  
Stanford Linear Accelerator Center

L'opinione pubblica ha in generale un'idea molto distorta degli scienziati e del loro lavoro ed è proprio per questo motivo che molti decidono di non intraprendere la carriera scientifica. Desidero quindi rendere il lettore partecipe di ciò che ho imparato durante cinquant'anni di lavoro nel campo della fisica sperimentale, elencando e commentando qui di seguito 14 punti. Essi costituiscono il motivo per cui considero il mio lavoro divertente ed emozionante. Farò anche degli esempi sulla base della mia esperienza personale.

**Nella scelta un settore scientifico ed una particolare area di interesse in quel settore, bisogna tenere in considerazione la propria personalità e il proprio temperamento.**

Io ho una visione meccanica dell'universo, conosco la matematica ma non sono particolarmente bravo, quindi sono diventato uno sperimentale. Io valuto gli esperimenti che potrebbero essere di qualche interesse, ma non lavoro all'elaborazione di teorie della fisica. Mi piace lavorare con gli strumenti, perché ho una buona manualità. Non cercate di rientrare per forza in un'immagine stereotipata dello scienziato. Non dovete essere dei geni matematici, non dovete avere manualità. Dovete solo avere voglia di scoprire nuove cose sulla natura e avere la forza di lavorare ad un esperimento anche quando nessuno conosce la risposta. Sarà magnifico quando sarete i primi a conoscere quella risposta.

**In un esperimento, è meglio seguire le proprie idee.**

Non è sempre possibile seguire le proprie idee, perché sarete spesso parte di un gruppo di ricerca con degli obiettivi precisi, ma è sempre più divertente lavorare sulle vostre idee.

**Non occorre saper pensare o parlare velocemente. In realtà, è meglio stare alla larga da persone così.**

All'inizio, una nuova idea può essere mal formulata o addirittura sbagliata. Diffidate di chi pensa e parla rapidamente, da chi non perde occasione di dimostrare che la vostra idea è sbagliata. Lavorando ad un'idea sbagliata, spesso finirete col trovare quella giusta. Ma ci vuole tempo e ci vogliono dei colleghi solidali e collaborativi, non dei critici dalla lingua lunga.

**Non occorre sapere tutto. Si può imparare un argomento o una tecnologia all'occorrenza.**

La scienza procede a passi da gigante di questi tempi e se provate a farvi strada in una nuova area, potreste essere portati a pensare di dover prima studiare tutta la letteratura sull'argomento. Al contrario, è meglio "fare il salto" abbastanza rapidamente e poi imparare dai colleghi, dalla letteratura, a lezione o con l'esperienza.

**Per ogni nuova idea, bisogna aspettarsi di averne dieci o venti cattive.**

Non aspettatevi che la maggior parte delle vostre idee porterà ad un risultato, ma quella volta in cui una buona idea funziona, proverete una sensazione incredibile.

**È spesso impossibile prevedere il futuro di una tecnologia usata in ingegneria o nella scienza in generale.**

Prima di diventare un fisico, ero un ingegnere chimico e, alla fine degli anni '40, lavoravo per la compagnia General Electric nell'ambito di un progetto di ricerca e sviluppo per la produzione di piccolissimi tubi a vuoto per elettroni. L'obiettivo finale era la costruzione di radio più piccole e con un minor consumo. Nello stesso tempo, nei laboratori Bell fu inventato il transistor.

**È fondamentale essere interessati, persino stregati, dalla tecnologia o dalla matematica a cui si lavora. In questo modo, anche i giorni più difficili non diventano tragici.**

Avrete sempre delle giornate difficili se lavorerete alla scienza sperimentale; giorni in cui non funziona niente o in cui scoprirete di dover ricominciare tutto da capo. È importantissimo che siate innamorati di quell'esperimento per poter andare avanti.

**Un altro vantaggio dell'essere totalmente coinvolti nella tecnologia e nella matematica è che è più facile pensare a miglioramenti e variazioni.**

Questo è ovvio.

**Non bisogna sorprendersi se la tecnologia o la matematica coinvolte in un progetto sperimentale o di ingegneria finiscono per risultare antipatiche o addirittura odiose e si preferisce lasciare che se ne occupino i colleghi. Ma non bisogna sorprendersi se poi, alla fine, ci si ritroverà a lavorare proprio su quella stessa tecnologia o matematica.**

Sebbene all'inizio della mia carriera fossi un ingegnere chimico, ci sono molti settori della chimica che non mi piacciono. Al momento, mi sto occupando della ricerca di particelle a carica elettrica frazionaria nel materiale meteoritico, area in cui si fa uso proprio della chimica colloidale. Alla fine, ho dovuto impararla.

**Bisogna apprezzare la tecnologia e la matematica di cui si fa uso, ma non troppo. Ce ne sono sempre di migliori.**

Questo è ovvio.

**È necessario imparare l'arte dell'ossessione.**

Quando lavorate ad un esperimento, dovete esserne ossessionati. Quando vi svegliate nel cuore della notte, è proprio a quello che dovete pensare. Ma con ogni esperimento, arriverà un momento in cui non riuscirete a migliorarlo in maniera sostanziale o in cui qualcun altro avrà svolto un esperimento più proficuo nella stessa area. A quel punto, dovrete porre fine a quell'esperimento e passare al prossimo. Questa è l'arte dell'ossessione nella scienza.

**In molti settori scientifici, sta diventando sempre più difficile conciliare il lavoro sperimentale con la teoria. In alcuni settori, ad esempio nella fisica delle particelle e in astrofisica, è di solito impossibile fare entrambi.**

Credo che in molti settori scientifici, la progettazione e la creazione di un moderno apparato sperimentale sia diventato un lavoro a tempo pieno, proprio come lo è dedicarsi ad un'attività puramente teorica. È triste, ma i giorni e le notti non sono abbastanza lunghi per fare entrambe le cose.

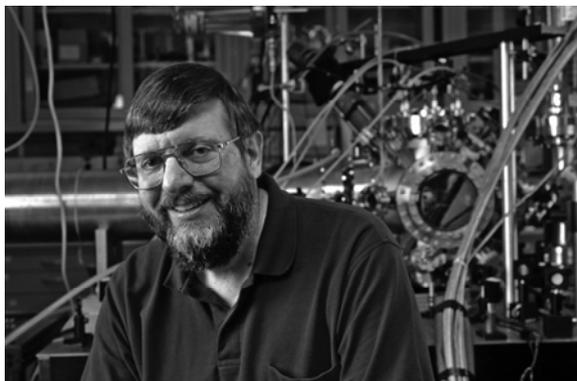
**La teoria dovrebbe essere una buona compagna, che a volte precede, a volte segue lo sperimentale, l'inventore e l'ingegnere, ma questi ultimi non devono mai permettere che sia la teoria a tracciare un percorso e a stabilire cosa sia importante.**

La teoria, perfino quella veramente speculativa, ha cominciato a dominare il pensiero e la presentazione scientifica all'interno e all'esterno della comunità scientifica stessa. Oggigiorno, gli sperimentali eseguono gli esperimenti proprio perché così è stato loro suggerito da una teoria, spesso molto speculativa. Se eseguite comunque l'esperimento, non perderete il vostro tempo a comprovare le speculazioni teoriche, ma sarete più felici e scoprirete di più riguardo alla natura, se farete gli esperimenti in cui credete. Alla fine, la validità della scienza dipende dai risultati sperimentali e dalle misurazioni.

## CON IL TEMPO LA RICERCA DIVENTA PIÙ EMOZIONANTE

*William D. Phillips*

National Institute of Standards and Technology, USA



© Copyright 1997 Robert Rathe

Per quanto io ricordi, la scienza mi ha sempre affascinato. Prima di compiere 5 anni, avevo creato un “set di chimica” che consisteva in una serie di bottiglie con varie sostanze chimiche di uso domestico; inoltre, andavo in giro ad osservare ogni piccola cosa con il microscopio che mi avevano regalato i miei genitori. La scienza, tuttavia, fu una delle tante passioni della mia infanzia insieme alla pesca, al baseball, al ciclismo e all’arrampicarsi sugli alberi, anche se i set per le costruzioni, i microscopi e i set di chimica attiravano la mia

attenzione più delle mazze da baseball, delle canne da pesca e dei caschi da football. Ricordo che, quando ancora non avevo compiuto 10 anni, decisi che la scienza sarebbe stata la mia professione e cominciai ad apprezzare, in modo superficiale ed ingenuo certamente, la semplicità e la bellezza della fisica.

Creai un laboratorio nella cantina di casa e lì, ignaro dei pericoli dell’amianto, dell’elettricità e della luce ultravioletta, trascorrevi ore a fare esperimenti con fuoco, esplosivi ed archi a carbone. Sebbene i miei genitori non partecipassero direttamente al mio interesse per la scienza, tolleravano i miei esperimenti, anche quando feci saltare tutti gli interruttori della luce. Fui sempre incoraggiato a coltivare i miei interessi ed ebbi la libertà di esplorare, di imparare e di divertirmi.

Alle scuole superiori, i corsi di scienze e matematica furono ottimi e li seguii con molto interesse; ma ora mi rendo conto che anche le materie letterarie, in particolare quelle mirate allo sviluppo del linguaggio e della scrittura, furono altrettanto importanti per la mia carriera scientifica. Credo che il fatto di aver partecipato ai dibattiti di classe abbia agevolato le mie presentazioni scientifiche, che i temi di scuola abbiano reso più facile la stesura degli articoli di ricerca e che lo studio del francese abbia consolidato la fruttuosissima collaborazione con il gruppo di ricerca di Claude Cohen-Tannoudji.

L’estate del penultimo anno delle superiori lavorai all’Università del Delaware ad alcuni esperimenti di *sputtering*. Fu un’esperienza magnifica e il mio supervisore, un dottorando, mi insegnò una grande verità: “Un fisico sperimentale, mi disse, è una persona che viene pagata per coltivare il proprio hobby”.

Quando frequentai il Juniata College, iniziai ad apprezzare il legame tra la matematica e la fisica; l'analisi matematica era una vera sfida, ma al tempo stesso molto divertente. Cominciai ad intravedere una sorta di unità nella fisica e nella matematica che, fino a quel momento, non ero riuscito ad apprezzare.

Presso il Juniata College, mi dedicai, in un primo tempo, alla ricerca sulla risonanza di spin elettronico cui mi appassionai, in seguito alla permanenza di 6 mesi presso l'Argonne National Lab. Grazie a questa esperienza, riuscii ad entrare come dottorando nel gruppo di ricerca di Dan Kleppner al MIT, dove mi concentrai sulle misure di precisione dei momenti magnetici. Proprio in questo periodo, il laboratorio cominciò ad impiegare i laser a colorante accordabile, una nuova ed importante caratteristica della fisica sperimentale.

Sotto la guida di Dan Kleppner, cominciai un nuovo esperimento con il laser che consisteva nell'eccitare atomi di sodio per studiare le loro proprietà di collisione. Terminai la tesi di dottorato con due esperienze di ricerca molto diverse, che furono molto utili negli anni a venire. Per questo devo ringraziare Dan. Osservandolo nella sua professione, ho imparato che è possibile lavorare nel campo della fisica, spingersi ai suoi confini e competere con i migliori scienziati del mondo e fare tutto ciò con uno spirito aperto, umanità e cooperazione.

Dopo aver trascorso due anni molto emozionanti al MIT come post-doc, mi trasferii a Gaithersburg, al National Bureau of Standards (ora National Institute of Standards and Technology). Ottenni questo lavoro grazie alla mia esperienza nelle misure di precisione, con la promessa che avrei potuto continuare anche gli esperimenti con il laser. Quindi, mentre lavoravo alle misure elettriche di precisione, cominciai a progettare un esperimento per "raffreddare" ed "intrappolare" gli atomi con il laser.

Quando ero ancora al MIT nel 1978, lessi degli articoli sul raffreddamento laser degli ioni intrappolati e sulla possibilità di usare questa stessa tecnica per intrappolare gli atomi di sodio. Avendo usato il laser per eccitare il sodio in un raggio atomico, pensai di poter eseguire il primo raffreddamento laser di atomi neutri. Si dimostrò un compito molto più arduo di quanto pensassi, ma in cinque anni, assieme a colleghi quali Hal Metcalf di SUNY-Stony Brook e a post-doc brillanti e capaci, imparammo pian piano le tecniche necessarie a rallentare gli atomi in un raggio atomico, intrappolarli e poi raffreddarli a temperature bassissime. Con grande sorpresa, scoprimmo che era possibile raffreddare un gas atomico ad una temperatura molto più bassa di quella che si pensava fosse già la temperatura limite. Alla fine, riuscimmo a raffreddare atomi di cesio ad una temperatura più bassa di un microkelvin!

Lo sviluppo delle tecniche per l'intrappolamento degli atomi e delle tecniche di raffreddamento laser avvenuto nel nostro laboratorio, come pure in laboratori di altre parti del mondo, ha aperto una nuova strada per la ricerca sulla fisica atomica e ha reso possibile una vasta gamma di progressi, dagli orologi atomici di altissima precisione alla condensazione di Bose-Einstein. Ho l'impressione che la ricerca diventi sempre più emozionante. La soddisfazione di essere un fisico che fa ricerca non deriva solo dalla gioia di imparare cose nuove ed inaspettate, ma anche dall'ambiente di lavoro: una comunità di scienziati ugualmente motivati che opera in laboratori sparsi per il mondo, uomini e donne da cui ho imparato molto e che sono felice di poter avere come amici.

## IL PUNTO DI PARTENZA

*Alexander M. Polyakov*

Princeton University, USA



© Cortesia di Alexander M. Polyakov

Quando ero alla scuola superiore trovai un famoso articolo, scritto dall'illustre matematico Andrey Nikolaevich Kolmogorov che suggeriva certi test al tornasole per il talento matematico, quali: immaginare una sezione di un cubo tagliato al centro da un piano perpendicolare alla diagonale oppure, risolvere delle espressioni di algebra che bisognava sviluppare in fattori semplici. In entrambi i casi, non ci riuscii. Così decisi che non ero portato per la matematica e tentai di studiare fisica. Provai a leggere alcuni libri famosi e anche alcuni manuali universitari di fisica per matricole. Il risultato non fu positivo: il ritmo lento mi annoiava e più dettagliate diventavano le spiegazioni, meno capivo.

Un giorno, in una libreria di testi usati, comprai la "Meccanica" di Landau e Lifshitz e finalmente mi si aprì un mondo. Lo cominciai a leggere e mi entusiasmai subito: la bellezza del "principio di minima azione", i principi basati sulla simmetria, la visione unitaria del mondo, la fantastica intensità intellettuale di questo libro lasciarono un'impronta indelebile su di me. Mi resi conto che a prescindere che possedessi o meno le abilità necessarie, questa era la mia scienza e l'avrei studiata ad ogni costo.

Era chiaro, tuttavia, che per passare l'esame di ammissione all'università dovevo essere in grado di risolvere i problemi standard come quelli precedentemente menzionati. Cominciai a leggere i libri che contenevano i problemi e le soluzioni e dopo un po' notai che spesso i procedimenti erano gli stessi per diversi problemi ed alla fine diventai abbastanza bravo a risolverli. Dopo un poco imparai che si possono sviluppare abilità speciali se si è motivati da un obiettivo o dalla curiosità. All'università il mio relatore, Arkady Migdal, un uomo straordinario e un fisico brillante, mi suggerì di esaminare fenomeni comuni alla fisica della materia condensata ed alla fisica delle particelle. Cominciai a fare proprio quello, anche se a quel tempo si trattava di un approccio altamente insolito. Per un po' la gente pensò che fosse un'impresa pazzca, ma le cose cambiarono gradualmente. Oggi la connessione fra i due campi è piuttosto comune. Trovai un'analogia fra i cosiddetti fenomeni critici e le interazioni delle particelle elementari a distanze molto piccole. I primi si possono individuare molto facilmente: un pezzo di ferro quando si magnetizza o l'acqua bollente ad una pressione tale per cui la sua energia è pari a quella del vapore. A quel tempo ('66-'67) la teoria dei fenomeni critici era agli esordi; io stesso cercai di capire l'apparizione delle cosiddette "dimensioni anomale" e della "simmetria conforme". Mi resi conto che esisteva un'analogia matematica

con la fisica delle particelle e che potevo applicare le stesse idee per analizzare quegli esperimenti in cui elettroni di grandissima energia colpiscono protoni e producono una gran confusione. Inoltre, con mia grande soddisfazione, trovai un'analogia con un'altra branca della fisica, la teoria della turbolenza. Oggi, quarant'anni dopo, sono ancora affascinato da questi tre campi. Credo che le teorie della fisica nella loro unitarietà siano il messaggio più bello, più strano e più incompreso che riceviamo dalla Natura.

Qualche tempo dopo trassi nuovamente beneficio dalle analogie. Nella fisica della materia condensata ci sono oggetti interessanti che definiscono le proprietà della materia. Nei cristalli esistono determinati difetti di struttura chiamati "dislocazioni". Ad una certa temperatura cominciano a moltiplicarsi esponenzialmente finché il cristallo si fonde. Nei superconduttori ci sono i vortici, che svolgono lo stesso ruolo nel distruggere la superconduttività. Cercai oggetti simili che, pensavo, dovevano esistere nel vuoto a distanze molto brevi ed in effetti li trovai: sono oggi noti come "monopoli" e "istantoni". Tra l'altro, la loro abbondanza nel vuoto impedisce ai quark di propagarsi, causando quel fenomeno chiamato "confinamento dei quark". Casualmente e inaspettatamente, questi oggetti risultarono essere importanti in matematica, contribuirono a risolvere alcuni problemi di topologia di vecchia data. Forse questo indica che l'unità delle idee è ancor più grande di quanto pensiamo.

In seguito, come molti altri, cominciai ad esplorare scale ancora più piccole dove lo spazio-tempo diventa quantistico. Sto provando ancora ad usare l'analogia con le cose che conosciamo, nella speranza di trovare uniformità di idee anche in ambiti così piccoli. Non è sicuro che succeda, ma dopo una lunga esperienza si sviluppa una certa intuizione che è difficile spiegare. Forse, proprio come l'immaginazione spaziale (di cui difettavo a scuola) aiuta a disporre le cose nello spazio, c'è anche un'immaginazione temporale che aiuta a prevedere lo sviluppo. Questa immaginazione temporale è ciò che chiamiamo "intuizione" e migliora con l'esperienza.

L'obiettivo ultimo di questi sforzi è di rispondere a domande molto semplici. Oggi sappiamo rispondere alla domanda "Che cosa è il calore?" in modo preciso e non banale: è il moto delle molecole. Forse potremo rispondere con la stessa precisione alla domanda "Che cosa è il Tempo?" In questo momento non abbiamo la risposta, ma grazie ai risultati dell'affascinante ricerca svolta negli ultimi dieci anni, siamo almeno in grado di formulare la domanda in termini scientifici.

I problemi che stiamo affrontando stanno diventando più profondi e richiedono un livello più alto di astrazione. Temo che ci possa essere un livello di complessità oltre cui il cervello umano non sa operare, proprio come è impossibile insegnare algebra ad un bambino di tre anni. Ma anche se così fosse, siamo ancora molto molto lontani da questo limite.

## PERCHÉ HO DECISO DI FARE IL MATEMATICO

*Claudio Procesi*

Università “La Sapienza”, Roma, Italia



© Cortesia di Claudio Procesi

Credo di aver voluto sin da bambino diventare uno scienziato. Mia mamma mi raccontava spesso di un episodio della mia infanzia, avevo forse 5 anni. Ero a pranzo da una mia zia che mi domandò perché ero piuttosto silenzioso e le risposi “io penso”.

Credo che al fondo ogni scienziato voglia usare questa mirabile parte del corpo, il suo cervello, per esplorare e capire la realtà che ci circonda e pensi che questa sia una avventura unica dagli esiti imprevedibili. Mi ricordo che negli anni 60, quando in America alcuni miei amici provavano sostanze psichedeliche, mi sono sempre rifiutato di farlo proprio per timore di danneggiare il mio cervello con le sue capacità critiche. Confondere la fantasia creativa con le allucinazioni è certo incompatibile con la ricerca di una, anche se piccola, forma di verità.

Noi italiani poi possiamo ricordare i due versi di Dante

*Nati non foste a viver come bruti ma per seguir virtute e conoscenza*

e da Dante in poi: l'uomo rinascimentale, Galilei, gli illuministi e tanti esempi di ricerca sia intellettuale che applicata dei nostri predecessori.

Due devono essere le linee guida di uno scienziato, la curiosità e l'onestà intellettuale, senza queste abbiamo solo i pedanti o i ciarlatani, specie particolarmente in auge di questi tempi in cui ai palchi sulle piazze si sono sostituite le televisioni.

Poi forse un po' di umiltà, quella di Socrate e di *io so di non sapere*, un antidoto ai fondamentalismi e a coloro che credono di avere una linea diretta con Dio che li guida nelle loro, spesso folli, decisioni.

Certo dietro alla scelta di fare della scienza vi è anche un desiderio di libertà. Oggi in fondo non è molto difficile o rischioso fare lo scienziato ma dovremmo ricordarci sempre dei tempi in cui un cardinale, poi fatto santo, poteva chiudere la bocca ad una delle più grandi menti della storia, Galileo. Molti anni fa ricevetti un invito da parte del Vaticano a far parte della giuria che avrebbe rifatto il processo a Galileo, non risposi neppure.

Non io, che certo non potrei mai paragonarmi a quel genio, ma secoli di storia avevano pienamente assolto Galileo e gettato un'ombra sinistra sui suoi persecutori.

Per essere scienziati bisogna capire i nostri limiti e apprezzare la meravigliosa capacità che abbiamo di superarli anche se con grande lentezza ed enormi fatiche. Ricordiamo con Newton che *Siamo come nani sulle spalle di giganti, così che possiamo vedere più cose di loro e più lontane, non certo per l'altezza del nostro corpo, ma perché siamo sollevati e portati in alto dalla statura dei giganti.*

Sappiamo che la maggior parte del nostro lavoro scomparirà, ma non del tutto, per trasformarsi lentamente nella cultura e nella conoscenza del genere umano e, tramite la conoscenza, anche nella tecnologia.

Jacobi diceva che *Il vero scopo della scienza è per l'onore dello spirito umano.* Questo è vero specialmente per quanto riguarda la Matematica, in cui è la ricerca della soluzione dei grandi problemi la guida principale.

Per le applicazioni possiamo ricordare una frase di John Von Neumann, che pure è stato uno dei massimi innovatori del secolo scorso e strettamente legato alla nascita dei computers: *By and large it is uniformly true that in mathematics there is a time lapse between a mathematical discovery and the moment it becomes useful; and that this lapse can be anything from 30 to 100 years, in some cases even more; and that the whole system seems to function without any direction, without any reference to usefulness, and without any desire to do things which are useful*<sup>38</sup>.

Questo naturalmente pone il delicato problema del finanziamento della ricerca, perché il pubblico, i politici, gli industriali ed in genere tutti coloro che controllano i cordoni della borsa non sono così pazienti né disposti ad investire risorse economiche a tempi tanto lunghi. Quindi anche in questa età d'oro, in cui sembra che la scienza domini il mondo, vi sono moltissime insidie da superare per chi voglia dedicarsi a questa attività, senza scendere a troppi compromessi. Si sceglie di diventare scienziati con la consapevolezza che comunque si tratta di una scelta che può dare grandi soddisfazioni ma richiede anche grandi sacrifici. Purtroppo, e lo dico con molta tristezza, in questi tempi questi sacrifici in Italia stanno diventando quasi insostenibili per cui, in un mondo globale, i giovani italiani che vogliono diventare scienziati scelgono sempre più di farlo altrove rischiando di trasformare questa nostra patria, che tanto ha contribuito allo sviluppo della cultura umana, in un semplice ameno (forse) luogo di vacanze.

---

<sup>38</sup> È ampiamente riconosciuto che nella matematica esista un lasso di tempo tra una scoperta e il momento in cui questa diventa utile; e che questo lasso vada dai trenta ai cento anni, in qualche caso anche di più; e che l'intero sistema sembri funzionare senza alcuna direzione, senza riferimenti all'utilità, e senza alcun desiderio di fare qualcosa di utile. (N.d.T.).

## ANCHE TU POTRESTI ESSERE UN MATEMATICO

*Helen R. Quinn*

Stanford Linear Accelerator Centre, USA



© Cortesia di Dan Quinn

### La mia formazione

Sono cresciuta in Australia, in un paese e in un'epoca in cui noi ragazze non eravamo abituate a pensare ad una carriera che ci impegnasse per tutta la vita. Al limite, avremmo potuto lavorare per alcuni anni prima di sposarci e formare una famiglia. Non solo i miei insegnanti, ma anche i miei genitori si aspettavano che questa sarebbe stata la mia vita e non mi venne mai in mente di metterlo in discussione. A quel tempo, quindi, non avrei mai potuto immaginare la vita che avrei finito per condurre: una scienziata che intrattiene rapporti con colleghi in tutto il mondo e che gode di una reputazione internazionale.

Fortunatamente, i miei genitori sostennero sempre la mia immaginazione e la mia curiosità; mi incoraggiavano a coltivare le mie capacità proprio come facevano con i miei fratelli, ma al tempo stesso si assicuravano che sviluppassi anche le doti di cui avrei avuto bisogno come moglie e madre. Ebbi la fortuna di frequentare una buona scuola elementare, che si basava sul principio della formazione progressiva e che seguiva il pensiero di John Dewey sulla promozione della motivazione individuale e dello sviluppo intellettuale. Alle scuole superiori, più convenzionali e strutturate, ebbi invece la fortuna di avere ottime insegnanti: donne intelligenti, la maggior parte nubili, per cui l'insegnamento era una delle poche carriere possibili, che hanno valorizzato e sostenuto il mio entusiasmo ad imparare e mi hanno stimolata a pensare.

Ricordo che l'insegnante di matematica delle superiori una volta ci parlò delle nostre possibili carriere. A me disse "Helen, tu potresti diventare un matematico", e dopo una breve pausa aggiunse, "dato che sei molto pigra. Ti rifiuti di risolvere un problema nel modo più difficile e continui a pensare fino a che non trovi un modo intelligente di risolverlo." Non mi fu del tutto chiaro se fosse un rimprovero o un elogio, ma rimasi sorpresa che la matematica potesse essere una carriera.

La decisione di intraprendere il cammino della scienza non fu il risultato di una scelta consapevole. La prima volta che ebbi l'opportunità di scegliere fra le materie di studio fu alla fine del secondo anno delle superiori. In quell'occasione, scelsi un programma con un livello

scientifico piuttosto facile e, sia i miei insegnanti sia i miei genitori, insistettero che quella non era la giusta scelta per me. Alla fine, seguii il loro suggerimento. Durante i due anni successivi, il numero di materie diminuì sempre di più ed il contenuto dei corsi divenne molto tecnico. Scelsi sempre di seguire quanti più corsi potevo, compresi tutti quelli di scienze e di matematica ovviamente. Penso che questo fosse in parte dovuto al fatto che erano materie in cui andavo molto bene e in parte al fatto che mio padre, lui stesso ingegnere, mi spingeva in quella direzione.

Otteni il diploma di scuola superiore a 16 anni e subito dopo cominciai l'università a Melbourne. Su consiglio dei miei genitori, feci domanda per una borsa di studio statale che avrebbe pagato gli studi, in cambio di cinque anni di lavoro all'interno di un istituto statale dopo la laurea. Accettai così una borsa di studio dell'Australian Weather Bureau per diventare meteorologa.

Ricordo molto bene che, mentre lavoravo all'Australian Weather Bureau nel 1959 o '60, i dati satellitari relativi alla copertura delle nuvole furono disponibili per la prima volta ai meteorologi australiani. Dato che le condizioni meteorologiche di Melbourne derivano principalmente da una direzione in cui non c'è nulla, tra la vicina costa e l'Antartide, fino a quel momento le previsioni del tempo di Melbourne si basavano su mappe meteorologiche ricavate da estrapolazioni di dati molto limitati. Pertanto, le mappe migliorarono enormemente quando arrivarono i dati satellitari. La differenza tra i dati e le abituali estrapolazioni era incredibile! Il mio attuale scetticismo nei confronti delle previsioni teoriche è dovuto proprio al ricordo di quelle vecchie mappe.

Durante il mio secondo anno all'università di Melbourne, mio padre fu invitato a trasferirsi negli Stati Uniti per lavorare presso la società madre della piccola azienda che aveva diretto in Australia. La compagnia statunitense offrì di provvedere al trasferimento dell'intera famiglia negli Stati Uniti per tre anni, o più a lungo qualora avessimo deciso di rimanere. Tutti fummo d'accordo che passare tre anni negli Stati Uniti sarebbe stata un'esperienza interessante e tutti vi rimanemmo per un periodo molto più lungo!

Fui esonerata dal servizio presso il Weather Bureau; infatti, nessuno in quel periodo si sarebbe aspettato che una ragazza non ancora diciottenne vivesse così lontano dai suoi genitori per tre anni. Non sapevo nulla del sistema educativo statunitense. Mi rimboccai le maniche e feci domanda in due università vicine alla residenza della mia famiglia: Stanford e la University of California at Berkeley. Stanford fu più generosa nel riconoscere lo studio già fatto in Australia, pertanto scelsi di andare lì. La cosa più facile fu terminare il corso di studi in fisica e riuscii a farlo in un anno e tre mesi circa. A questo proposito devo ringraziare Jerry Pine, il professore di fisica al quale fui assegnata affinché valutasse i miei studi e decidesse dove inserirmi. In realtà, lasciò la scelta a me. Quindi mi laureai in fisica.

La fisica era diventata una vera passione e i miei professori mi incoraggiarono a cominciare il dottorato. Io feci domanda, anche se dubitavo che sarei riuscita a portarlo a termine. Lo feci semplicemente perché le scuole che mi sembravano più interessanti non accettavano studenti solo per un master. Segretamente, pensai che avrei frequentato per un solo anno e che sarei poi diventata insegnante di fisica alle scuole superiori. Ancora non credevo di poter fare carriera nella fisica. Ma prima della fine del primo anno, fui totalmente

catturata dalla fisica che stavo studiando. Continuai quindi gli studi e divenni un fisico. Il mio ramo è la fisica delle particelle.

### **Una breve sintesi del resto della mia vita**

Mi sposai con un collega al tempo del dottorato in fisica, dopodiché mio marito ed io cominciammo le nostre carriere con dei post-doc al DESY, un laboratorio di fisica di alta energia ad Amburgo, in Germania. Successivamente ci trasferimmo vicino Boston: mio marito trovò lavoro a Tufts, mentre io divenni professore ad Harvard. Vivemmo lì per sette anni e i nostri due figli sono nati durante quel periodo. (Quindi ero, e sono, madre e moglie, oltre che un fisico e quest'anno diventerò anche nonna). Ritornammo in California nel 1976, quando mio marito cominciò una nuova carriera nell'analisi delle decisioni. Io lavoro allo SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) dal 1977.

### **I miei principali contributi scientifici**

Mi è stato chiesto di parlarvi dei miei maggiori contributi scientifici. Per farlo, prima di tutto devo dirvi un paio di cose sulle interazioni o forze fondamentali in natura. Nella vita quotidiana riconosciamo quattro tipi di interazioni molto diverse: la gravità, che conoscete perché ne sentite l'effetto tutti i giorni, le interazioni elettriche e magnetiche, che probabilmente conoscete perché sono utilizzate nei motori elettrici e nei magneti e che a livello elementare sono responsabili del legame tra elettroni e nucleo per la formazione di un atomo. Ci sono poi due altri tipi di interazioni che operano dentro il nucleo: l'interazione forte che lega i quark che formano neutroni e protoni ed è anche responsabile del legame di protoni e neutroni nel nucleo; e la forza nucleare debole, nella quale un tipo di quark si trasforma in un altro, ad esempio un protone in un neutrone (o viceversa in certe circostanze) con l'emissione di alcune particelle molto leggere che escono dal nucleo.

Il mio primo articolo che riscosse un certo successo risale al tempo in cui le teorie sulle particelle avevano riconosciuto che le interazioni forti, deboli ed elettromagnetiche, hanno tutte proprietà matematiche simili, anche se ovviamente hanno forze differenti. Tale somiglianza potrebbe essere la prova che queste tre interazioni rappresentano tutte aspetti differenti di una singola interazione unificata; questa idea è chiamata la "grande teoria unificata". Ma se le interazioni sono unificate, perché hanno forze così differenti? Steven Weinberg, Howard Georgi ed io siamo riusciti a capire come questo possa verificarsi.

Capimmo che la forza delle interazioni dipende dall'energia di interazione delle particelle e che la forza delle varie interazioni cambia in momenti diversi. Scoprimmo che c'è una scala energetica molto alta dove le tre interazioni, che appaiono così diverse nell'energia di tutti i giorni o persino negli esperimenti con acceleratori ad alta energia, sembrano uguali. Riuscimmo anche a spiegare come la simmetria della teoria unificata, che mette in relazione queste diverse interazioni, possa rompersi in modo tale che le forze differiscono a più basse energie. L'idea delle grandi teorie unificate è tuttora una parte importante della fisica delle particelle, benché la scala energetica sia così alta che non abbiamo prove dirette per le altre particelle o per gli altri processi previsti da tale teoria.

Il mio secondo contributo importante è ancora più tecnico da spiegare e deve essere ancora confermato dagli esperimenti. È anche parte di molte teorie odierne e certamente è ancora una

possibile risposta all'enigma che noi, cioè Roberto Peccei ed io, stiamo cercando di risolvere. Le interazioni forti hanno una proprietà chiamata simmetria CP che le forze deboli non fanno. Questa proprietà significa che le leggi della fisica della materia e quelle dell'anti-materia sono esatte immagini speculari l'una dell'altra. (L'anti-materia è stata osservata in laboratorio, quindi sappiamo che esiste ed è molto simile alla materia eccetto che per un'inversione di cariche, cosicché gli anti-protoni hanno carica negativa, mentre gli anti-elettroni, anche chiamati positroni, hanno carica positiva). L'enigma sta nel fatto che nella teoria della fisica delle particelle standard, se non c'è simmetria speculare tra materia ed anti-materia nelle interazioni deboli, tale assenza di simmetria "contagerebbe" più o meno automaticamente anche le interazioni forti.

Abbiamo trovato una classe di teorie, estensioni della teoria standard, che sostengono tutte le buone proprietà ma evitano questo "contagio". Sembra anche che queste teorie prevedano un nuovo tipo di particella che interagisce pochissimo con la materia comune e pertanto rappresenta una possibile candidata per la misteriosa materia scura che pervade l'universo. Tale particella è chiamata assione. Non è l'unica possibile particella di materia scura, ma è una particella interessante. Si stanno effettuando esperimenti molto intelligenti che pare possano scoprire se gli assioni sono elementi costitutivi della materia scura nella nostra galassia. Fino ad ora non sono stati rilevati, ma tale possibilità non è ancora stata scartata.

Mi chiedo se vivrò abbastanza a lungo da vedere confermata una di queste o altre idee con prove sperimentali dirette; una delle sfide di questo tipo di lavoro teorico è che è difficile da sperimentare. La mia ricerca è più vicina all'esperimento, mentre questo lavoro riguarda per lo più l'esame dei dettagli teorici e, per questo motivo, difficilmente ottiene lo stesso riconoscimento di idee altrettanto audaci ma più facili da sperimentare. Tali idee sono valutate innanzi tutto per il loro impatto sul pensiero degli altri; solo molto tempo dopo veniamo a sapere se sono idee corrette sul funzionamento della natura.

---

**LA GIOIA DI UNA RICERCA SENZA FINE**


---

*Chintamani N.R. Rao*

Jawaharlal Nehru Centre for  
Advanced Scientific Research, India



© Cortesia di Mrs. Shashi

Sono stato molto fortunato ad avere dei genitori molto sensibili al processo formativo: essi tenevano in gran conto l'apprendimento e la carriera scolastica. Ci sono stati poi alcuni bravi insegnanti nella scuola superiore. Io ero affascinato dagli esperimenti di chimica in laboratorio ed amavo i colori, i vapori e gli odori. Quando andavo ancora a scuola, incontrai persone che eseguivano delle ricerche nel vicino "Indian Institute of Science" e nutrii per loro un profondo rispetto: ero attratto dall'idea di ricercare e scoprire cose non ancora scoperte. Avevo sentito parlare di famosi scienziati e percepivo il loro carisma. Vedere e ascoltare di persona, nei miei anni di scuola superiore, un grande scienziato come il premio Nobel C.V. Raman, ebbe un grande impatto su di me. Raman mi portò nel suo laboratorio assieme ad altri due scienziati all'età di undici anni. Rimasi veramente affascinato dal modo in cui gli scienziati come Raman si interrogassero sui misteri della natura e sul mondo della materia. Desideravo praticare la ricerca quando non ero ancora laureato, però non avevo l'opportunità

di farlo, né era possibile praticarla nell'università dove studiavo. Nonostante ciò, fui incoraggiato da un insegnante che mi mostrò un lavoro che faceva parte della sua tesi di Master che era stata pubblicata. Egli mi suggerì un modo per continuare i miei studi dopo il diploma di laurea, ovvero frequentare un Master che comprendesse un programma di ricerca.

Quando conseguii la laurea breve in scienze a Bangalore, alla relativamente giovane età di diciassette anni, la mia unica seria opportunità era quella di continuare gli studi scientifici universitari. Fortunatamente il programma del Master in chimica che seguivo a Banaras comprendeva una tesi di ricerca; lì incontrai un professore che mi incoraggiò molto. Pubblicai articoli sull'argomento della mia tesi di Master, ma soprattutto scrissi una piccola descrizione di un lavoro che avevo condotto da solo e che fu pubblicata sulla rivista *Science*. Durante questo periodo lessi un libro di Linus Pauling, che influenzò il mio modo di percepire la chimica e aumentò il mio desiderio di svolgere l'attività di ricerca in certe aree di fondamentale importanza. Questo desiderio mi indusse ad andare negli Stati Uniti nel 1954 per conseguire un dottorato di ricerca in fisica e chimica alla Purdue University dove potei continuare la ricerca collaborando in diverse discipline con vari professori oltre al mio

relatore. Questa libertà mi permise di pubblicare dei piccoli appunti e qualche articolo, di cui alcuni basati sui problemi che stavo affrontando e sulle mie idee: questi piccoli successi fecero salire il mio morale alle stelle. Alcuni dei miei insegnanti mi diedero un grande sostegno a quel tempo: il premio Nobel H.C. Brown, ad esempio, mio docente, m'incoraggiava continuamente a pubblicare le mie piccole scoperte, frutto della ricerca che svolgevo nel tempo libero; egli è un chimico veramente dedito alla sua professione e pubblica ancora i suoi studi all'età di novantatré anni.

Nella mia carriera sono stato influenzato da alcune grandi personalità che sono state fonte di ispirazione e modelli di comportamento: Nevill Mott di Cambridge, il decano della fisica dello stato solido, fu una di queste. Egli rimase intensamente coinvolto nell'attività di ricerca fino a che non si spense all'età di novantun anni. Michael Faraday, il più grande ricercatore di tutti i tempi, è stato il mio eroe fin dall'adolescenza; pubblicò quattrocentocinquanta articoli di ricerca che scrisse da solo, senza il minimo interesse alla carriera amministrativa o a posizioni di potere e molto probabilmente avrebbe ricevuto cinque premi Nobel se fosse vissuto nel ventesimo secolo. Faraday disse che la scienza non è altro che "lavorare, finire e pubblicare": fare ricerca scientifica non è solo scegliere un buon problema ma anche avere la strategia per poterlo risolvere e pubblicare.

Col passare degli anni, fare scienza è diventato il mio stile di vita; l'infinita gamma di progetti d'eccellenza offerti dalla scienza e la passione che infonde una gioia ineguagliabile hanno dato un senso alla mia vita. Niente mi soddisfa maggiormente che portare a termine qualcosa di nuovo nella mia ricerca, e ovunque mi trovi e qualunque cosa stia facendo il pensiero della ricerca domina la mia esistenza. Portare a termine una ricerca si può paragonare all'esperienza di uno sciatore alpino, ovvero si può capire solo se vissuta direttamente.

Ho imparato molto dai miei studenti e le loro domande divenivano talvolta nuove esplorazioni; una di queste domande fu "quanti atomi sono necessari per fare un metallo?" Per dare una risposta a questo quesito ho dovuto compiere anni di esperimenti. Lavorare con i giovani per me è stata una grande esperienza, anche perché mi ha aiutato a rimanere giovane.

Sebbene l'incoraggiamento dei miei genitori, gli utili consigli degli insegnanti e gli occasionali incontri con alcuni scienziati abbiano tutti contribuito a farmi diventare uno scienziato, la vera motivazione è nata dall'aver fatto già in età relativamente giovane esperienze di ricerca e dall'aver avuto anche l'opportunità di lavorare a stretto contatto con i miei modelli ideali. La libertà di dimostrare alcune idee quando ero giovane e di poterne pubblicare i risultati, stimolava la mia sete di sapere. Una volta che fui colto dal virus buono della scienza, esso iniziò a crescere, e vedere pubblicato il mio nome divenne una passione che è tuttora inesauribile.

Molte persone che conosco e che hanno avuto grande successo negli affari, in banca o nell'industria, non paiono così felici come ci si aspetterebbe e danno infatti l'impressione di soffrire a causa di un desiderio insoddisfatto. Questo accade specialmente agli scienziati che si distaccano dai loro principi e diventano amministratori o manager: sembrano dispiaciuti per qualcosa e allora si nascondono dietro una faccia coraggiosa spesso mischiata ad un po' d'arroganza superficiale. Mi sento veramente grato per il fatto di non avere rimpianti; la mia vita è stata piena di soddisfazione e non vorrei cambiarla con quella di nessuno. Credo di

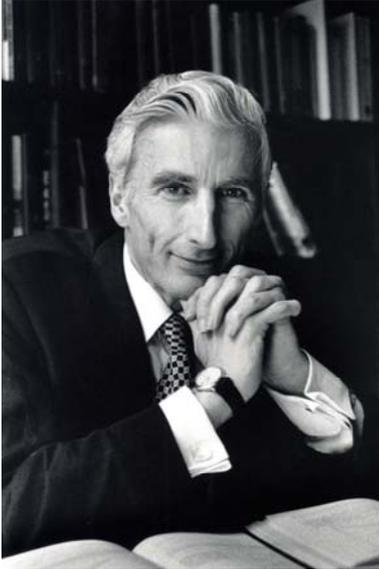
essere stato estremamente fortunato nel fare quello che mi piaceva di più, infatti penso che nessun'altra professione mi avrebbe dato la stessa completa felicità di quella che ho scelto.

Ciò che è anche meraviglioso della scienza è che non c'è limite alla ricerca! È la possibilità di poter continuare a salire i gradini di questa scalinata infinita: questo è l'aspetto della scienza che mi affascina maggiormente. È sorprendente vedere come le ricerche si possano sviluppare man mano che lo scienziato insegue le sue idee: "Grandi querce da piccole ghiande". Quello che comincia come un semplice granello di polline diventa ghianda, la ghianda poi cresce e diventa una quercia, poi la quercia si trasforma in una foresta e alla fine iniziamo a vedere i confini di un nuovo continente. E ce ne sono tanti da creare e da esplorare! La maggior parte della vita di uno scienziato può essere spesa nella ricerca dei granelli di polline; e chi contribuisce alla trasformazione di un granellino in un continente è veramente felice. Tutto ciò può accadere per caso, ma il caso favorisce una mente preparata. Mi sento davvero fortunato per aver potuto cercare la mia felicità in un granello di polline e nei miei sforzi per lo sviluppo dei continenti assieme ai giovani.

## LA SCIENZA È UNA RICERCA INFINITA

*Martin Rees*

Cambridge University, UK



© Cortesia di Phil Greenhalgh

Tutti i rami della scienza a volte ristagnano e altre volte progrediscono vertiginosamente. Negli anni '60, quando ero uno studente, i buchi neri erano un concetto nuovo e si era appena avuta la prima conferma che l'intero cosmo si fosse originato da un Big Bang.

Quello fu un periodo favorevole per coloro che cominciavano a studiare cosmologia; infatti quando tutto è nuovo, l'inesperienza è meno penalizzante. Trent'anni dopo, il ritmo delle scoperte è altrettanto incalzante.

Io sono piuttosto un teorico da poltrona, che cerca di trovare un senso a quanto è stato scoperto; la maggior parte del merito però, non dovrebbe andare a persone come me, ma a coloro che progettano e costruiscono gli strumenti sulla terra e nello spazio.

Molti hanno sentito parlare del telescopio spaziale Hubble, ma noi attualmente stiamo imparando altrettanto - e in modo più economico - dai grandi telescopi terrestri. Il più spettacolare di questi è il Very Large Telescope (VLT) dell'European Southern

Observatory, che si trova sulla cima di una montagna nel nord del Cile (uno dei luoghi dove il cielo è più limpido e il clima più secco) e che consiste in una schiera di quattro specchi, ciascuno del diametro di 8 metri.

I grandi telescopi sono per molti versi simili a delle macchine del tempo: ci mostrano galassie così lontane che la loro luce ha percorso un viaggio di miliardi di anni per giungere fino a noi.

Noi vediamo queste galassie com'erano in un passato lontanissimo, all'inizio della loro evoluzione, quando erano formate principalmente da gas di idrogeno puro.

Diciamo che i cosmologi hanno un vantaggio in più rispetto ai geologi che cercano di studiare il passato della terra; noi possiamo effettivamente vedere la rivelazione della storia cosmica, piuttosto che dedurla semplicemente dai reperti fossili.

Se mi venisse chiesto di riassumere l'obiettivo della mia ricerca in una sola frase, direi che è quello di tracciare la storia dell'evoluzione del nostro universo dalle semplici origini fino allo stato presente, al panorama cosmico di miliardi di galassie, ciascuna contenente miliardi di stelle.

Su un pianeta attorno ad una di queste stelle, il nostro Sole, qualcosa è successo; qualcosa che è di gran lunga più meraviglioso di qualsiasi cosa del mondo inanimato: l'emergere di una biosfera complessa, contenente esseri coscienti come noi, capaci di riflettere sulle origini degli atomi di cui siamo fatti.

Di certo tutti ci chiediamo se questo sia successo da qualche altra parte. La vita c'è anche altrove? O noi siamo unici?

Le possibilità di forme avanzate di vita da qualche altra parte nel nostro sistema solare non sembrano promettenti, ma nel prossimo decennio forse sapremo se ci sono degli "insetti" su Marte e le sonde spaziali forse troveranno anche delle forme di vita esotiche sotto gli oceani ghiacciati di Europa, una delle lune di Giove.

Il nostro Sole è solo uno tra miliardi di stelle, ma dieci anni fa non sapevamo se ci fossero altre stelle attorno alle quali gravitavano dei pianeti. Adesso sappiamo che altri sistemi planetari esistono e sono comuni.

Sono pienamente convinto del fatto che nella nostra galassia ci siano milioni di pianeti come la Terra, che orbitano attorno ad altre stelle. Ma non scommetterei sul fatto su questi ci sia la vita: non sappiamo abbastanza per dire se la comparsa della vita sia probabile o meno.

Tuttavia, ora capiamo molto di più su come si è formata la Terra e della sua posizione nel cosmo. Quando avevamo un solo esempio di sistema solare era difficile comprenderlo: sarebbe stato come cercare di comprendere l'evoluzione biologica da un solo topo.

Può sembrare pretenzioso affermare di capire qualche cosa riguardo l'universo, ma in realtà non è così. Ciò che rende le cose difficili da capire è la loro complessità, non la loro grandezza.

Una stella è molto più semplice di un insetto, non c'è della chimica complessa dentro di essa: è così "calda" che ogni cosa viene ridotta nei suoi atomi più semplici. Al contrario, anche nel più piccolo organismo vivente, gli atomi sono concatenati tra loro in una complicata struttura stratiforme. La biologia, sotto molti punti di vista, è una materia molto più difficile dell'astronomia.

Noi siamo a metà strada tra atomi e stelle. Ci vogliono tanti corpi umani per formare una stella, quanti atomi per costruire uno di noi. La nostra esistenza la dobbiamo alle stelle, perché sono state loro a dare vita a questi atomi.

La luminosità delle stelle è dovuta alla fusione nucleare, una versione controllata di quanto accade in una bomba all'idrogeno; questo processo trasforma l'idrogeno, l'atomo più semplice, in carbonio, ossigeno e negli altri atomi di cui siamo composti. Quando le stelle terminano la loro vita, diventano supernove, i detriti si disperdono nello spazio per poi condensarsi in nuove stelle e pianeti.

Per i meno romantici, si potrebbe dire che noi siamo il rifiuto nucleare del combustibile che fa brillare le stelle.

Quasi tutti condividono il concetto del Big Bang, l'idea che tutto sia cominciato in uno stadio caldo e denso. Possiamo essere abbastanza certi delle condizioni che c'erano pochi

secondi dopo il Big Bang: la temperatura era a miliardi di gradi. Ma che ne è dello stadio precedente, di quella prima minuscola frazione di secondo quando tutto era ancora più caldo e denso?

Per capire la vera origine, avremmo bisogno di sviluppare i nostri concetti di spazio e tempo, di una nuova teoria di tutte le forze della natura che coniughi la gravità e il mondo dei quanti.

Probabilmente andremo oltre all'idea dello spazio tridimensionale o dello scorrere del tempo e riusciremo a concepire un mondo con dieci dimensioni piuttosto che uno con tre, come siamo abituati a pensare.

Spesso mi viene chiesto quali siano le conseguenze sulla religione o sulla filosofia di questo modo di pensare e temo che la mia risposta sia piuttosto stupida: non credo che il rapporto con queste due discipline sia cambiato negli ultimi trecento anni, dai tempi cioè di Isaac Newton.

Newton era in grado di spiegare alcune caratteristiche del cosmo, la ragione per cui i pianeti si muovono in orbite di forme particolari, ad esempio, ma non era in grado di spiegare la configurazione del sistema solare, con i suoi soli, i pianeti e le comete.

Ora, invece, siamo in grado di farlo; i pianeti si sono formati da un disco polveroso che si muoveva vorticosamente attorno al sole che si era appena costituito. Siamo in grado di risalire fino ad un'era prima che si formassero le galassie, addirittura fino ai primi secondi del Big Bang. Ma, ad un certo punto, ci troviamo ancora ad affermare che "le cose stanno così, perché erano così".

La scienza non ci dirà mai perché c'è stato un universo e cosa infonde vita alle nostre equazioni in modo che esse si possano applicare all'universo reale. Ci troviamo ancora davanti ad un muro, proprio come Newton.

I cosmologi reagiscono in maniera diversa: c'è chi crede nella religione e c'è chi non crede, proprio come nel XVII secolo.

Ma i cosmologi hanno imparato un cosa che, credo, ha un certo impatto sul modo in cui guardiamo a noi stessi e al posto che l'umanità occupa nella natura: il futuro dinanzi a noi è molto lungo rispetto al passato.

Ci sono voluti 4.5 miliardi di anni affinché la nostra biosfera si evolvesse, ma il sole non rimarrà a corto di energia per altri 5 miliardi di anni; in altre parole, è a metà della sua vita. È possibile anche che l'universo continuerà ad espandersi per sempre; in questa prospettiva, gli esseri umani sono lontani dall'essere all'apice dell'evoluzione, forse ci troviamo solo all'inizio.

È una caratteristica della scienza, ed è parte del suo fascino, che questa ricerca sia infinita. Ogni progresso porta con sé una nuova serie di domande.

Nel nuovo millennio, sicuramente amplieremo le nostre conoscenze, ma probabilmente alcuni aspetti della realtà rimarranno sempre al di là delle nostre capacità di comprensione. Rimarranno dei misteri, una sfida per intelligenze superiori, naturali o artificiali.

Ciò che veramente mi sorprende è che l'uomo sia riuscito a fare progressi, che siamo in grado di distinguere molti schemi in natura e che siamo riusciti a farci un'idea del nostro habitat cosmico.

Alcuni secoli fa, i primi navigatori impararono le dimensioni e la forma della Terra e, grosso modo, la posizione dei continenti. Oggi stiamo procedendo alla configurazione dell'intero cosmo e stiamo imparando di cosa sia composto. I dati a nostra disposizione sono molti di più rispetto al passato e sono più accessibili: si possono ottenere o scaricare in qualunque parte del mondo.

Questo è un momento invidiabile perché i giovani intraprendano una carriera scientifica.

Anche essere uno scienziato di mezza età non è poi così male.

## DOBBIAMO MIGLIORARE LA NOSTRA IMMAGINE

*Tullio E. Regge*

Institute for Scientific Interchange, Torino, Italia



© Archivio fotografico ICTP

L'immagine della scienza è appannata, una crescente porzione dell'opinione pubblica diffida degli scienziati e pensa che siamo tutti dei Frankenstein: dobbiamo trovare un rimedio a questa spiacevole situazione. Come se non bastasse, alcuni dei nostri più inesorabili critici sono essi stessi scienziati; se il caro vecchio Freud potesse ritornare, avrebbe qualcosa d'interessante da dire su di loro.

Poco tempo fa, sono stato invitato a parlare in occasione di una tavola rotonda che verteva sull'immagine della scienza. Il pubblico era composto principalmente da insegnanti di materie scientifiche delle scuole superiori del Piemonte. Ho parlato degli argomenti più scottanti in materia di scienza e ambiente, tra cui l'energia nucleare, gli OGM, l'elettrosmog e l'intervento sul genoma umano, quest'ultimo ancora nelle sue fasi sperimentali.

Tutte le centrali elettriche nucleari italiane sono state chiuse o demolite e noi continuiamo a pagare stipendi a persone che non hanno niente da fare. Questi impianti sono stati sostituiti da altri che utilizzano combustibili fossili importati, vale a dire carbone, petrolio e gas naturale. Nel nostro Paese, esiste una quantità considerevole di "ceneri nucleari" in condizioni tutt'altro che ottimali. Tutti i tentativi di trattarle ed immagazzinarle in un sito sicuro sono stati contrastati. Quelle stessa persone che si lamentano fortemente dei pericoli dell'energia nucleare, sono anche attivamente coinvolte nel mantenere i rifiuti nucleari in uno stato di totale insicurezza.

Alla tavola rotonda abbiamo discusso anche del problema "dell'inquinamento" dei raccolti dovuti agli OGM. Questa indesiderata intrusione può essere evitata facendo uso di OGM recentemente sviluppati, che sono sterili o non contengono il gene indesiderato nel polline. Quando ho parlato di questa possibilità, i verdi presenti in sala sono stati presi da uno scatto di collera incontrollata. Sono stato accusato di diffondere informazioni inaffidabili, quando in realtà le ho ottenute direttamente da un esperto internazionale sugli OGM.

Sono stato membro di un comitato governativo in cui sono stati analizzati i problemi dell'ES, il cosiddetto "elettrosmog"; uno dei membri era un esperto di alto livello in questa

materia presso l'OMS<sup>39</sup>. È risultato che l'effetto dell'ES era stato sopravvalutato notevolmente dalla stampa e che in alcuni paesi, tra cui l'Italia, la legge sull'ES stava conducendo a pesanti ed inutili sprechi di fondi pubblici.

L'umanità è afflitta da innumerevoli malattie genetiche, alcune di loro sono mortali e causano tantissime sofferenze. Eppure c'è chi fa del buonismo e si oppone alla ricerca sulle malattie genetiche non avendo, naturalmente, niente da offrire in cambio con l'eccezione forse dell'ignoranza.

Ho citato quattro campi in cui la scienza è sotto attacco direttamente oppure a seguito dei risultati della ricerca. Affrontare direttamente chi ci critica allo scopo di raggiungere un minimo accordo è una "missione impossibile". Essi sono una strana miscela di zeloti e demagoghi che rifiutano qualsiasi soluzione per il timore di perdere voti. Tutto questo mi ricorda una frase di Robert Mencken:

“Puritanesimo: l'ossessivo timore che qualcuno, in qualche luogo, possa essere felice”.

Non ho mai incontrato un puritano dei tempi di Mencken, ma ne ho incontrati molti ai giorni nostri. Dobbiamo migliorare la nostra immagine.

---

<sup>39</sup> Organizzazione Mondiale della Sanità delle Nazioni Unite (*N.d.T.*)

## ABBIAMO BISOGNO DI VOI

*Vera C. Rubin*

Carnegie Institution of Washington, USA



© Cortesia di Mark Godfrey

Da adolescente, quando abitavo a Washington DC, il mio letto era sotto la finestra che si affacciava a nord e, la sera, trovavo più interessante guardare il cielo che dormire. Aspettavo di vedere le stelle muoversi in archi attorno alla stella polare; qualche volta vedevo delle meteore. Il mistero e la maestosità del cielo notturno mi affascinarono e mi sembrava assurdo vivere sulla Terra senza provare a capire ciò che vedevo nel cielo. Sapevo che c'erano continenti ed oceani e com'era fatta una mappa della Terra; ora volevo studiare le galassie, le stelle e i pianeti e come fosse la mappa del nostro angolo di universo.

A questo scopo, presi in prestito i libri dalla biblioteca locale, costruii un telescopio con l'aiuto di mio padre e gli amici ci portarono nella campagna della Virginia per avere una vista migliore del cielo. Perfino ora credo che la vista più straordinaria che esista sia quella delle stelle che splendono nel cielo notturno, come si può osservare dalla cima di una montagna. Da un osservatorio nell'emisfero australe, dove il cielo è scuro e la regione centrale della Via Lattea brilla

luminosa sopra la nostra testa (e addirittura proietta ombre), posso vedere l'immensa distesa della Via Lattea e mi rendo conto di trovarmi in un minuscolo pianeta e che sto guardando il piano principale della mia galassia. Che cosa meravigliosa!

Sono una scienziata perché mi sono innamorata di uno stile di vita che mi permette di apprendere durante il corso di tutta la mia vita e di imparare tutto quello che si sa del cosmo. La bellezza, l'illimitata portata e la struttura cumulativa della scienza mi hanno portato a diventare un'astronoma.

Ottenni una borsa di studio per il Vassar College, una scuola per sole donne, per studiare astronomia. Maria Mitchell insegnò proprio astronomia in questa scuola dalla sua apertura nel 1865 fino al 1888. Ma nel 1945, negli Stati Uniti l'astronomia era insegnata prevalentemente nei college privati che non ammettevano donne. Dopo la mia laurea (conseguita a Cornell), io e mio marito ci trasferimmo a Washington DC, dove completai il dottorato di ricerca alla Georgetown University e scrissi la mia tesi con George Gamow, il celebre fisico/cosmologo che insegnava alla George Washington University. Il mio ingresso nel mondo della ricerca astronomica fu quindi poco convenzionale perché non frequentai un college specializzato nella formazione degli astronomi. Di conseguenza i miei primi studi non furono "ortodossi".

Mentre ero assistente universitario alla Georgetown University, mi concentravi soprattutto sullo studio delle regioni sconosciute delle galassie. Diversamente dai centri delle galassie, che erano oggetto di studio ed osservazione continua, le parti esterne erano trascurate. Scelsi un programma di ricerca che mi avrebbe permesso di seguire il mio ritmo, senza entrare in competizione con gli altri astronomi. Come moglie e madre di quattro ragazzini vivaci, sapevo che era possibile destreggiarsi tra famiglia e carriera, ma erano necessarie speciali considerazioni ed attenzioni.

Conciliare la vita scientifica con quella familiare è stato possibile e divertente grazie all'incoraggiamento di mio marito Bob, matematico/biologo, e grazie alle opportunità offertemi dal Carnegie Institution di Washington. Allan, nostro figlio minore, recentemente si è ricordato che, ogni qual volta, da bambino, chiedesse dove fosse la mamma, la risposta "sta osservando" lo rassicurava, poiché tutti sembravano contenti. In realtà Allan non sapeva cosa significasse la parola "osservare".

Quando divenne più faticoso conciliare famiglia, insegnamento e ricerca, mi trasferii al DTM (Department of Terrestrial Magnetism), un laboratorio di ricerca del Carnegie Institution di Washington (era il 1965), dove il dottor Kent Ford aveva appena costruito uno spettrografo all'avanguardia che determinava le velocità orbitali delle stelle situate ai limiti esterni delle loro galassie.

Durante i 15 anni che seguirono, io e Kent studiammo le velocità orbitali delle stelle e dei gas in oltre 100 galassie. In ogni galassia le velocità orbitali nelle regioni esterne erano molto più rapide delle velocità previste dalla distribuzione della luce nella galassia. Ne deducemmo quindi che in una galassia, la maggior parte della materia è oscura. L'accelerazione gravitazionale causata da questa "materia oscura" fa muovere le stelle a velocità inaspettatamente alte e trattiene le stelle in modo che non si disperdano nello spazio. Quindi, la distribuzione della materia in una galassia è MOLTO diversa dalla distribuzione della luce.

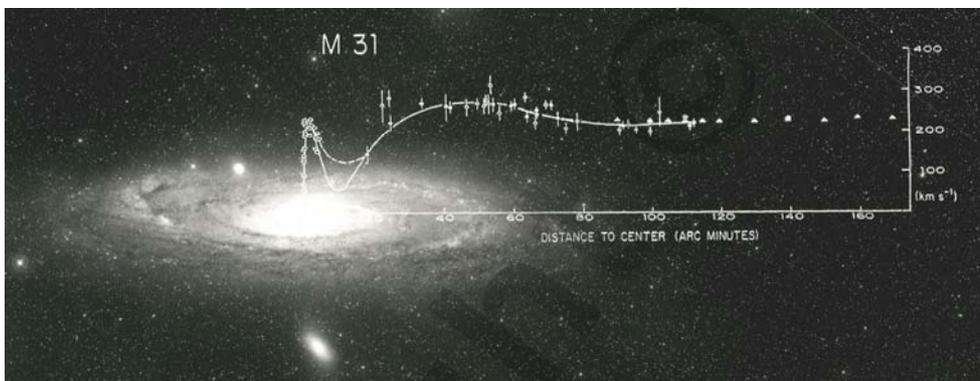
Studiare qualcosa che non si vede è difficile, ma non impossibile. Non sorprende, infatti, che la materia oscura sia stata individuata dai suoi effetti sulla materia luminosa, che sono visibili. Possiamo dedurre qualche caratteristica della materia oscura: essa è meno concentrata nel centro di una galassia rispetto alla materia luminosa, si estende assai oltre i confini ottici di una galassia, la sua forma è meno piatta di quella di un disco, non emana luce a nessuna lunghezza d'onda. In una galassia a spirale almeno il 90% della materia è oscura. Così, gli atomi e le molecole che compongono i nostri corpi e che compongono l'universo non sono i maggiori costituenti dell'universo. Gli agglomerati di materia oscura che si sono formati all'inizio dell'universo, probabilmente sono le zone in cui si sarebbero più tardi formate le galassie.

Negli anni 30 Fritz Zwicky concluse che la materia oscura esisteva in gruppi di galassie, ma questo risultato non fu ampiamente accettato. In seguito ai nuovi risultati sulla velocità rotazionale nelle galassie, gli argomenti a favore dell'esistenza della materia scura sono diventati più convincenti.

C'è un piccolo appunto da fare relativamente a questi risultati. All'inizio del ventesimo secolo, i fisici hanno scoperto che in sistemi piccoli come gli atomi ed i nuclei, le leggi fisiche convenzionali non sono valide. Solo ora abbiamo testato le leggi di Newton su scale grandi

quanto le galassie. Anche qui, esse non sono valide, ma attribuiamo l'errore all'esistenza della materia scura. Finché non riusciremo a capire veramente cos'è la materia scura, non possiamo escludere la possibilità che la teoria gravitazionale newtoniana debba essere modificata per distanze grandi quanto le galassie. La cosa migliore sarebbe una nuova cosmologia che risolva contemporaneamente parecchie problematiche: cos'è la materia oscura? Cos'è l'energia oscura? Conosciamo correttamente l'evoluzione dell'universo?

Quasi tutto quello che sappiamo a proposito dell'universo è stato imparato in 400 anni, cioè da quando Galileo ha utilizzato il telescopio per vedere che la Via Lattea consiste di tantissime stelle divise in gruppi. In futuro, si potrà scoprire che ci sono dimensioni nascoste, tempi nascosti, forse che il nostro non è l'unico universo. Per quelli tra voi interessati alla scienza offro il seguente consiglio: non rinunciate, abbiamo bisogno di voi! Ognuno di voi può offrire un contributo importante alla conoscenza. Anche voi potete diventare scienziati e lungo la vostra strada potrete coinvolgere altre persone. Spero che vi appassionerete alla scienza tanto quanto io mi sono appassionata allo studio dell'universo.



La Nebulosa di Andromeda (M31), nostra "vicina di casa", rivelata nell'ottico dalla Sonda Palomar. La velocità delle nuvole di gas è indicata con cerchi aperti e bianchi. Le velocità rilevate dalle osservazioni radio di idrogeno neutro sono indicate dai triangoli bianchi. Si noti che le velocità orbitali stellari rimangono alte, anche quando la luminosità della galassia è molto bassa.

## IL FASCINO DELLA CONOSCENZA

*David Ruelle*

Institut des Hautes Etudes Scientifiques, France



© Cortesia di David Ruelle

Fu subito dopo la fine della seconda guerra mondiale che, da giovane adolescente belga, mi avviai verso la scoperta intellettuale del mondo. Scoprii molte cose meravigliose che volevo conoscere e capire: paesi lontani, lingue curiose, tracce delle antiche civiltà umane, animali preistorici, la bellezza pericolosa delle piante officinali, i misteri dell'universo microscopico e l'immensità del cosmo. Qualche tempo dopo, la mia curiosità si fece estrema, astratta e concettuale. Fui affascinato da quello che leggevo sulla matematica e sulla fisica moderna: il teorema di Gödel, la relatività, la teoria quantistica, ... divorai anche molti libri sulla chimica, la psicoanalisi, la botanica e la filosofia (Auguste Comte e Baruch Spinoza). Presto nutrii più interesse verso formule come  $e^{ix} = -I$  o  $E = h\nu$  che verso la prova ontologica dell'esistenza di Dio.

Quelli furono giorni felici per chi era portato per la scienza. Era possibile concentrarsi sulla ricerca intellettuale piuttosto che sulla ricerca di un lavoro.

Tuttavia, dovevo fare una scelta professionale. Dopo aver abbandonato il percorso di ingegneria, studiai fisica e matematica e il mio lavoro divenne quello di capire la natura fisica delle cose utilizzando la matematica. La matematica è una specie di magia intellettuale e, in quanto tale, è piuttosto gratificante. La fisica matematica è il potere magico applicato al mondo reale. Il controllo sul mondo che gli antichi provarono ad esercitare con magie e arti divinatorie, riuscì a Newton, Planck, Einstein, Heisenberg e Schrödinger con la fisica matematica. Anche se Einstein si definì come un fisico matematico, la successiva generazione di fisici (tra cui Feynman) sminuì l'importanza del ruolo della matematica nella comprensione del mondo fisico. Più recentemente, però, la matematica è tornata prepotentemente alla ribalta con la teoria delle stringhe che sfortunatamente non è stata ancora provata sperimentalmente.

Nel corso dei miei studi teorici ed astratti fui abbastanza fortunato. Mi imbattei in un tema specifico che era supportato da applicazioni concrete: il *Caos*. In parole povere, lo studio del Caos a bassa dimensione è l'analisi dell'evoluzione di sistemi fisici nel tempo, in modi che appaiono complicati, stravaganti, confusi e possono, ciò nonostante, essere compresi e previsti (o più precisamente, può essere studiata la loro prevedibilità). La teoria del Caos ebbe importanti precursori (Poincaré, Edward Lorenz), ma divenne un importante argomento di ricerca nel 1970 e 1980, perché a quel punto le tecniche matematiche, computazionali e

sperimentali, permisero un'analisi più seria di molteplici fenomeni complessi. Si capì che alcuni fenomeni potevano essere compresi con la teoria del Caos a bassa dimensione (turbolenza debole dei fluidi, meteorologia per un certo grado, turbolenza chimica, parte dell'astronomia del sistema solare...), mentre per altri ciò non era possibile (ad esempio, per le serie finanziarie). L'età d'oro della teoria del Caos fu un importante periodo per me, perché potevo spaziare in tutte le direzioni: dalla matematica pura, e spesso difficile, alle discussioni con gli scienziati sperimentali nei loro laboratori, meteorologi, chimici, economisti e in genere con una grande varietà di persone estremamente competenti, intelligenti ed interessanti. Lasciatemi dire che non mi sono lasciato intimidire dall'esperienza intellettuale del Caos e dalle sue applicazioni, diversamente da alcuni miei colleghi che preferivano stare in ufficio e continuare la loro routine, dimostrando teoremi rigorosi su realtà che essi non erano interessati a conoscere più da vicino.

Il periodo d'oro della teoria del Caos è finito, e quelli che hanno collaborato al suo sviluppo ormai si occupano di altro, se sono ancora attivi. I miei interessi sono largamente confluiti verso la meccanica statistica del non equilibrio (una parte della fisica teorica che usa sistemi dinamici e idee sul Caos). Mantengo anche un interesse meno professionale per un certo numero di argomenti che da ragazzo trovavo intellettualmente interessanti. Accade spesso che gli scienziati rimangano affascinati da temi come i funghi o la linguistica (e.g. Murray Gell-Mann), argomenti molto lontani dai loro interessi professionali in matematica e fisica. Questo affascinante potere della conoscenza rimane vivo in tutti quelli che fra noi sanno accoglierlo, sia nell'ambito della propria abilità professionale, sia semplicemente come essenziale arricchimento per la propria vita.

## PERCHÉ FISICA?

*Myriam P. Sarachik*

City College of New York, USA



© Cortesia di David Price

In seguito alle circostanze storiche che caratterizzarono l'Europa nel '900, la mia infanzia fu piuttosto movimentata ed insolita. Sono nata nel 1933, l'anno in cui Hitler salì al potere e il corso della mia vita cambiò in maniera irrevocabile quando la mia famiglia ed io dovvemmo scappare in Belgio. Verso la fine del 1941 trovammo rifugio a Cuba, dove vissi dagli otto ai tredici anni e mezzo e poi immigrammo negli Stati Uniti, la terra della speranza, della libertà e delle illimitate possibilità. Lì frequentai la scuola superiore, poi l'università e ottenni tutti i miei titoli di studio.

Vivevo in una famiglia e in una comunità abbastanza tradizionaliste: non era previsto che le donne lavorassero fuori casa. Dovevano occuparsi dei bambini, che è senz'altro un duro lavoro, ma non intraprendevano una carriera professionale. Se una donna lavorava fuori casa, evidentemente lo stipendio del marito non era sufficiente.

I primi anni della mia infanzia furono abbastanza noiosi e tristi e la mia vita cambiò quando cominciai la scuola, che mi introdusse in un mondo nuovo ed emozionante. Leggere era un piacere, i numeri erano un divertimento: adoravo la scuola! Prima che iniziassi la scuola ero considerata una dolce e brava bambina anche se un po' pasticciona, poi divenni speciale e degna di attenzione.

Dopo la prima elementare, doveti interrompere la scuola per più di un anno poiché ci spostavamo da uno stato all'altro. Sebbene mio padre non volesse spendere soldi per acquistare libri (eravamo in un periodo difficile e non c'erano né il tempo né i soldi per queste cose), mia madre li comprava lo stesso affinché io potessi leggere ed io rileggevo sempre lo stesso libro finché non ne avevo un altro. Avevo otto anni quando ci trasferimmo all'Avana e lì potei ritornare a scuola.

Mi interessavano molte cose: la grammatica, le lingue, l'anatomia, la geografia, insomma quasi tutto. Divoravo i libri, suonavo il pianoforte, amavo ardentemente la musica e mi divertivo in particolare con l'aritmetica, l'algebra, ecc.

Perché alla fine optai per la fisica? Non sono sicura di sapere la risposta. La fisica era la materia più difficile che avessi incontrato e all'inizio ero tutt'altro che brava. Era una vera sfida. Le altre materie erano relativamente facili, mentre la fisica era DURA ed era tenuta in

grande considerazione. Mio padre, al quale ero molto affezionata e che rispettavo e stimavo molto, la considerava il successo intellettuale per eccellenza; egli, tuttavia, era estremamente combattuto riguardo ai miei studi. Da una parte, attribuiva grande importanza al successo intellettuale e mi incoraggiava a fare bene (avrebbe lui stesso certamente scelto di essere un fisico se la vita gli avesse offerto questa opportunità), ma dall'altra, io ero una ragazza e le ragazze dovevano sposarsi ed avere figli.

Conseguii la laurea breve in fisica nel 1954 presso la Barnard University, benché tutti i corsi si tenessero nella vicina Columbia, dato che non c'erano abbastanza ragazze interessate a questa materia. Philip Sarachik ed io ci sposammo nell'estate di quell'anno: era arrivato il momento di passare alla vita che ci si aspettava da me. Ma non avrei fatto nulla di male ad aspettare un pochino e così accettai un lavoro ai laboratori IBM Watson, molto vicino alla Columbia University. Già da allora, ero stata totalmente catturata ed ammaliata dalla fisica; era sempre difficile, ma potevo farcela e mi divertivo. Mi sarebbe piaciuto fare il dottorato in fisica, ma sentivo dentro di me che non avrei dovuto farlo. Ma che male c'era nel seguire uno o due corsi di specializzazione lì alla vicina Columbia University? Mio marito decise di iniziare il dottorato in ingegneria elettronica e, a quel punto, io decisi di fare altrettanto.

Ci sarebbero state molte sfide ad attendermi. C'erano pochissime donne candidate per il dottorato in fisica a quei tempi. Non ricevetti nessun incoraggiamento dai professori ma al tempo stesso, fatta eccezione per quei numerosi docenti che avevano pregiudizi sul ruolo e sulle abilità delle donne, non c'erano ostacoli evidenti: tutti noi dovevamo passare lo stesso esame, dovevamo preparare una tesi, dovevamo discuterla.

Il passo successivo fu un po' diverso: passai un periodo incredibilmente duro in cerca del mio primo lavoro. Credevo che una parte, forse una gran parte, del problema dipendesse dal fatto di essere diventata mamma della mia prima figlia, Karen. Ma non mi persi d'animo e riuscii a vincere anche quella sfida.

Non mi soffermerò a raccontare gli anni di transizione. In breve, dopo aver lavorato come post-doc presso i Laboratori IBM Watson e presso i Laboratori Bell Telephone, iniziai a lavorare come docente al City College di New York, dove ho trascorso praticamente la mia intera vita professionale. Ho sempre amato il mio lavoro al CCNY: all'inizio ero un'insegnante mediocre, poi mi innamorai dell'insegnamento e imparai, con il tempo, a farlo sempre meglio.

Tuttavia, le più grandi gioie e soddisfazioni della mia carriera sono dovute alla ricerca, dove credo di aver dato alcuni significativi contributi. Quando ero un post-doc ai Laboratori Bell, feci delle misurazioni sperimentali che stabilirono una corrispondenza univoca fra la presenza del momento localizzato e la presenza di un minimo di resistenza rispetto alla temperatura in certe leghe; contemporaneamente, Jun Kondo eseguì un calcolo, ora famoso, che dimostrò che il minimo è, infatti, dovuto ad un momento locale. Questo risolse un grande enigma che esisteva dal 1930. Inoltre, in un recente lavoro (con Sergey Kravchenko), ho avanzato l'ipotesi che un inatteso stato metallico può esistere in due dimensioni. Nel 1996 un dottorando del mio gruppo, Jonathan Friedman, ed io abbiamo scoperto il tunnelling di un grande momento magnetico attraverso l'osservazione delle fasi di un nanomagnete molecolare, acetato di  $Mn_{12}$ , nelle curve di magnetizzazione, una scoperta che ha stimolato un'enorme attività intorno a ciò che ora è noto come "magneti a molecola singola".

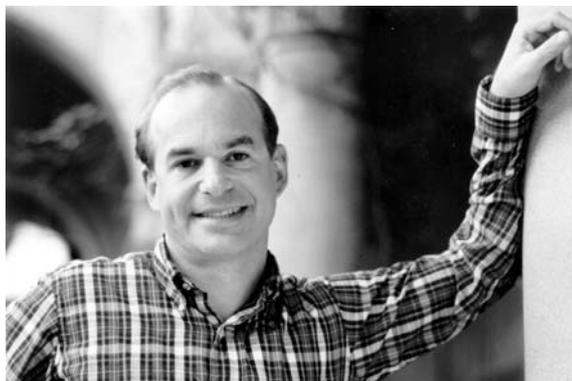
I miei interessi mi hanno portato al di fuori dell'ambiente universitario, in senso fisico e figurato. Mi sono occupata della difesa dei diritti umani degli scienziati e ho servito la comunità degli scienziati di fisica in diversi modi: attraverso consulenze, servizi presso l'American Physical Society, organizzando conferenze, ecc. Queste attività culminarono con la mia elezione a presidente dell'American Physical Society nel 2003, un anno che è stato unico per intensità, coinvolgimento e ricompensa.

La mia vita come fisico è stata piacevole e molto gratificante. Ciò non significa che la strada è stata sempre in discesa: ho affrontato problemi, sfide ed ostacoli, piccoli e grandi. Uno degli aspetti più esaltanti di questa professione (o di quella di matematico, chimico, biologo...) è che si continua ad imparare, ad oltrepassare confini, ad ampliare le conoscenze. Non mi riferisco solo alla ricerca di nuovi fatti e fenomeni attraverso la ricerca, ma anche alla gioia di imparare cose che altri hanno già affrontato e capito, ma che noi, ora, incontriamo ed approfondiamo per la prima volta. È una magnifica sfida.

## SUPERSTRINGHE

*John H. Schwarz*

California Institute of Technology, USA



© Cortesia di John H. Schwarz

I miei genitori, entrambi scienziati, appoggiarono fin da subito il mio interesse nei confronti della matematica e della scienza. Conseguii la laurea in matematica ad Harvard, un corso che seguii con passione. Tuttavia, al momento di continuare gli studi post laurea, decisi di orientarmi verso la fisica teorica delle particelle, poiché volevo studiare le formule matematiche che tentavano di descrivere il mondo reale. A Berkeley, dove studiai per il dottorato, le mie scelte scientifiche furono fortemente influenzate dal mio relatore, Geoffrey Chew. Dopo

aver ottenuto il dottorato, nel 1966, ricevetti un incarico di professore a Princeton per sei anni, dopodiché mi trasferii a Caltech, dove sono tuttora.

Quasi tutta la mia carriera di fisico teorico è stata caratterizzata dallo studio della teoria delle stringhe, una teoria quantistica relativistica che si occupa di oggetti fondamentali, chiamati stringhe, piuttosto che di punti, come avviene nelle teorie quantistiche relativistiche più tradizionali. Ho operato questa scelta in maniera piuttosto insolita; permettetemi di raccontarla. Come vedremo, la teoria delle superstringhe, che è tuttora utilizzata per elaborare una teoria unificata di tutte le forze e particelle fondamentali, fu sviluppata inizialmente per cercare di risolvere un problema diverso.

Negli anni '60, la forza nucleare forte, che lega tra loro i quark all'interno dei protoni, dei neutroni e di altri adroni, non era ancora stata compresa. In quegli anni, gli scienziati teorici cercavano una semplice spiegazione per tutte quelle nuove particelle che gli sperimentalisti stavano producendo con i grandi acceleratori. All'Università di Berkeley, Chew, Mandelstam ed altri professori stavano sviluppando idee molto interessanti, quali l'"ipotesi del *bootstrap*" e la "teoria dei poli di Regge", come parte del programma sulla "teoria della matrice S". Questo programma non favorì una completa comprensione della forza nucleare forte, ma, per un'incredibile sequenza di eventi, condusse alla teoria delle superstringhe.

Tra il 1968 e 1970, Veneziano, Nambu ed altri svilupparono il "modello di risonanza duale", che fu presto interpretato come la teoria di una stringa relativistica. Questo modello era motivato dalle idee sul *bootstrap* e da quelle di Regge di cui era composto e fu quindi in grado di descrivere molte caratteristiche qualitative della fisica degli adroni. Nel 1971,

Ramond, Neveu ed io introducemmo un secondo modello di risonanza duale (o teoria delle stringhe). Esso conteneva un nuovo tipo di simmetria, la supersimmetria, e quindi (dopo alcuni ritocchi) questa teoria delle stringhe divenne nota come teoria delle superstringhe.

Tuttavia, entrambe le teorie presentavano alcune lacune, due delle più evidenti erano che la coerenza matematica richiede dimensione extra spaziali e l'esistenza di particelle senza massa. Entrambe queste caratteristiche erano chiaramente sbagliate per la teoria degli adroni. Il ritocco finale alla teoria delle stringhe fu apportato nel 1973, quando una teoria quantistica di campo chiamata cromodinamica quantistica (QCD), emerse come la teoria corretta della forza nucleare forte. Il suo successo fu immediato e convincente. La teoria delle stringhe, un'area di ricerca molto attiva per quasi cinque anni, si esaurì dal giorno alla notte.

Nel 1974, organizzai un soggiorno di 6 mesi a Caltech per Joël Scherk, un fisico francese con cui avevo lavorato ai tempi di Princeton. Entrambi pensavamo che la teoria delle stringhe fosse una struttura matematica troppo bella per essere totalmente irrilevante per la natura. Benché fossimo convinti dell'esattezza della QCD, credevamo che la teoria delle stringhe meritasse un'ultima opportunità prima di essere abbandonata. Ci rendemmo presto conto che i suoi difetti potevano essere trasformati in pregi, se fosse stata usata per obiettivi totalmente diversi da quelli per cui era stata sviluppata originariamente.

Particelle senza massa esistono in natura e le particelle costitutive della luce (i fotoni) e della gravità (i gravitoni) ne sono un esempio. Tuttavia, queste particelle non sono adroni. Dimostrammo che il gravitone della teoria delle stringhe, a bassa energia, si trova in perfetta sintonia con le previsioni della teoria generale della relatività di Einstein. (Questo risultato fu ottenuto anche da Yoneya). In questo contesto, le extra dimensioni non erano più un problema, in quanto negli anni '20, Kaluza e Klein avevano dimostrato che le dimensioni extra spaziali possono svolgere un ruolo utile nelle teorie gravitazionali.

Prima degli anni '80, quasi tutti i fisici delle particelle avevano ignorato la forza gravitazionale, che può effettivamente essere messa da parte in circostanze ordinarie. Ad esempio, in un atomo di idrogeno, l'attrazione gravitazionale tra un elettrone e un protone è  $10^{38}$  volte più debole dell'attrazione elettrica. D'altro canto, i relativisti, i fisici specializzati nello studio della gravità, non facevano uso della fisica delle particelle. Essi studiano gli oggetti più grandi dell'universo (perfino l'universo stesso), non piccole particelle. I relativisti partecipavano ad incontri diversi, leggevano altre riviste e (fino agli anni '80) non avevano alcun bisogno di comunicare con i fisici delle particelle, proprio come questi ultimi non sentivano il bisogno di pensare ai buchi neri e all'origine dell'universo per cercare di capire le particelle elementari.

Per questi motivi, anche quando Scherk ed io capimmo che la teoria delle stringhe possedeva caratteristiche matematiche rilevanti ai fini della gravità, non ci sentimmo pronti ad interpretarla come una teoria fisica della gravità. Per fortuna, dopo alcune settimane di intense discussioni, fummo pronti a fare il grande salto. Scherk ed io proponemmo di reinterpretare la teoria delle stringhe come una possibile teoria unificata della gravità e delle altre forze fondamentali. Si trattava di un cambiamento radicale di prospettiva secondo cui, ad esempio, bisognava pensare alle stringhe come oggetti di dimensioni pari alla lunghezza di Planck ( $10^{-33}$ ), affinché la forza gravitazionale avesse la forza corretta. Si tratta di una lunghezza

minore di 20 ordini di grandezza rispetto a quella che era stata immaginata quando le stringhe erano usate per descrivere gli adroni, la cui dimensione tipica è di circa  $10^{-13}$  cm.

Oltre ad includere la gravità in una teoria unificata, la teoria delle superstringhe aveva un altro vantaggio. Tutte le teorie quantistiche della gravità proposte fino a quel momento si erano rivelate totalmente inutili ai fini di correggere le formule classiche dal punto di vista quantistico, dando risultati apparentemente infiniti. Le teorie delle stringhe hanno un comportamento molto migliore a brevi distanze rispetto alle teorie quantistiche di campo delle particelle puntiformi e di conseguenza non presentano questo tipo di problemi.

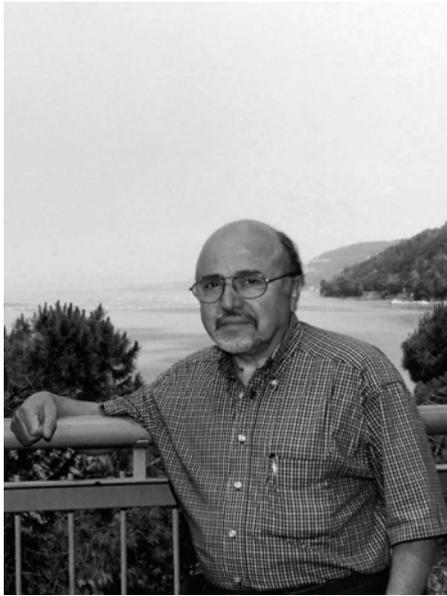
Scherk ed io eravamo molto emozionati alla possibilità che la teoria delle stringhe potesse diventare il Sacro Graal della teoria di campo unificata, superando così i problemi che avevano ostacolato gli altri tentativi. Oltre a pubblicare il nostro lavoro su riviste scientifiche, partecipammo a numerose conferenze presso i dipartimenti di fisica di tutto il mondo. In generale, il nostro lavoro fu accolto con successo e da quanto so, nessuno ci accusò di essere degli eccentrici. Tuttavia, per i successivi dieci anni, pochi altri esperti presero seriamente in considerazione la nostra proposta e fu necessario un considerevole sforzo per continuare a lavorare in un settore che non suscitava grande interesse. Purtroppo, Joël Scherk morì nel 1980, alla giovane età di 35 anni. È un vero peccato che non sia stato presente quando la teoria delle superstringhe è stata formalmente accettata e che non abbia potuto partecipare al suo progressivo sviluppo.

Nel 1979, Michael Green ed io abbiamo cominciato un'intensa collaborazione mirata a sviluppare la teoria delle superstringhe. Ogni anno, abbiamo compiuto scoperte che pensavamo avrebbero convinto gli altri fisici della virtù di questa teoria, ma ci vollero altri cinque anni perché ciò accadesse. Nell'estate del 1984, mentre lavoravamo all'Aspen Center for Physics, scoprimmo che la teoria delle superstringhe riusciva ad aggirare alcune apparenti incoerenze, chiamate anomalie. Entro pochi mesi da quella scoperta, la teoria delle superstringhe divenne una delle aree di ricerca più attive della fisica teorica. Lo è ancora oggi.

## LE GIOIE ED IL COSTO DELL'INDIPENDENZA SCIENTIFICA

*Giacinto Scoles*

Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati  
Trieste, Italia



© Archivio Fotografico ICTP

Cara futura Collega,

mi è stato chiesto di esprimere per i giovani qualche pensiero su quello che ho trovato sulla strada che porta alla scienza ed ho deciso di scriverti una lettera sui “pro e i contro” di fare scienza professionalmente. Ti immagino collega al femminile, per mettere l’accento sul fatto che le riserve di intelligenza mondiali tra le donne sono molto più abbondanti che tra gli uomini vista la più scarsa partecipazione, sino ad ora, all’ “Impresa Scienza” delle prime rispetto ai secondi.

In realtà se tu sapessi, a priori, di farcela, secondo me, di “contro” non ce ne sarebbero proprio. Infatti ben pochi lavori al mondo danno, al giorno d’oggi, altrettanta libertà, indipendenza e soddisfazioni (anche di tipo economico) come il lavoro della scienziata di successo. Tuttavia se fare i soldi, ed il potere che il possesso di soldi comporta, è quello che ti interessa realmente, allora sarebbe bene che ti concentassi su quello scopo lasciando la scienza a coloro che

apprezzano di più di te l’immensa bellezza e la potenza delle idee, specialmente quelle nuove. Perché sono le nuove idee che, ovviamente, definiscono il lavoro della scienziata/ricercatrice di successo.

Una delle ragioni per cui io mi considero una persona fortunata è perché l’importanza di possedere la capacità di generare nuove idee mi fu spiegata già nei primi anni del liceo. Un ottimo professore di storia e filosofia (si chiamava Elio Rossi ed era un sopravvissuto ai campi di concentramento tedeschi) ci spiegò che il generare nuove idee fornisce indipendenza perché spesso la gente si mette a lavorare spontaneamente per chi ha le idee giuste anche se la ricompensa è scarsa o persino assente. Insegnandoci a mettere l’accento sullo sviluppo del nostro pensiero piuttosto che sulle nozioni, il professore ci introdusse pure ad un metodo eccellente e moderno di insegnamento che purtroppo sta solo ora, cinquant’anni più tardi, prendendo piede. Solo adesso infatti, esistono programmi come Google, che rendono visibilmente sciocco l’insegnare fatti come la data di nascita degli scrittori importanti quando questa informazione può essere ottenuta in 0.3 secondi di ricerca nel momento stesso in cui ne

avessimo bisogno. Seguendo una linea di ragionamento molto simile, il famoso fisico americano Richard Feynman racconta in uno dei libri sulla sua vita di essere stato fortunato per aver imparato molto presto da suo padre che non è il nome di un particolare uccello che è importante sapere, ma è la conoscenza di quello che quell'uccello fa che ci può insegnare qualcosa sugli uccelli in generale. D'altro canto, non è garantito che ce la facciate al primo tentativo a raggiungere il successo e l'indipendenza che esso comporta, perciò è giusto che io cerchi di darti un'idea di quanto sia grande il premio dell'indipendenza raggiunta e, per essere obbiettivi ed onesti, ti faccia anche presente che per mantenere la giusta direzione c'è pure, ovviamente, un prezzo da pagare.

Dopo aver chiarito all'inizio che le idee portano indipendenza perché molti sono lieti di lavorare per coloro che introducono nuovi e più vantaggiosi metodi di lavoro pratico o teorico, parliamo un po' delle soddisfazioni che comporta l'innovazione scientifica. Molti ti parleranno dell'eccitazione che si prova al momento di scoprire di essere i primi a completare uno dei tanti puzzles che andiamo risolvendo nel costruire la così detta cattedrale del sapere umano. Mentre ciò è assolutamente vero, vi sono grosse differenze tra le varie interpretazioni che si possono dare alla frase precedente. Molti mettono l'accento sul divertimento personale sostenendo che "divertirsi" è la ragione principale per la quale essi giocano al gioco della scienza. Anche se anch'io considero ovviamente divertente fare una esperienza riuscita, per me, quando si parla del sapere umano, l'accento va messo sull'umano e non sul sapere.

Infatti è facile capire che senza la continua partecipazione implicita o esplicita di tutta l'umanità la scienza non avrebbe alcun significato. Le verità scientifiche si possono stabilire solo mediante un serio confronto delle nostre idee con quelle degli altri. La verità è come l'energia: il suo valore assoluto non è noto però i valori relativi si possono stabilire con grande precisione. Ti sarà quindi facile intuire che io traggo le migliori soddisfazioni dal condividere quello che so e nel trasmetterlo ad altri. Non sto però parlando dell'insegnamento in classe (che, nella formazione dei ricercatori, io considero un relitto del passato con tutti i suoi esami e test di metà corso) ma dell'insegnamento dei metodi di ricerca che si fa tutti i giorni con i nostri studenti nei nostri laboratori. Infatti, e di gran lunga, le più grosse soddisfazioni della mia vita mi sono derivate dallo sviluppo di relazioni stabili e durature con i miei studenti che anno dopo anno rimangono in contatto con me e mi considerano ancora dopo molti anni un utile consigliere nella loro vita di scienziati.

Infine parliamo pure del *costo* dell'indipendenza.

Se tu sei, come io spero, completamente ed irreversibilmente convinta che solo la ragione e non il potere debba regolare i rapporti scientifici e non, tra la gente, dovrai saper preferire la bellezza delle idee all'ottusità del potere e che, per permetterti questo "lusso", dovrai essere disposta a fare dei sacrifici. Per esempio, ti potrebbe capitare, per difendere i tuoi principi e/o le tue idee, di dover cambiare posto di lavoro andando a lavorare dove altri, che apprezzano quello che sai fare, avranno bisogno di te. L'alternativa sarebbe che tu spenda tutte le tue energie (che spesso però non bastano) a erigere le mura di difesa del tuo "castello" o "impero" entro le quali i tuoi "sudditi" debbano fare quello che vuoi tu, a ragione o torto. A mio parere, il cambiamento del posto di lavoro è una buona soluzione perché così eviteresti di spendere il

tuo tempo in un modo completamente improduttivo, conducendo continue e penose battaglie di posizione e di potere invece di essere libera di contribuire alla costruzione ed ammirare la magnifica logica e bellezza del sapere umano.

Forse è per questo, e non solo per i geni nomadi della mia famiglia, che io ho studiato e lavorato in almeno sei diversi posti in cinque diverse nazioni e mi trovo felice ma un po' stanco alla fine della mia carriera ad avere tre nazionalità e i pezzi della mia famiglia sparsi un po' dappertutto. Forse io però ho esagerato un pochettino e mi sono ogni tanto dimenticato una delle cose sulle quali ho sempre insistito molto con i miei studenti, cioè che tra i metodi della scienza primo tra tutti vi è quello di essere sempre pronti ad ascoltare ed imparare.

Cara collega spero di averti convinto che, tutto sommato, i "pro" della scienza sono molto più numerosi dei "contro" e chiudo facendoti i miei migliori auguri per la tua futura, brillante, carriera! Con tutta sincerità, tuo

Giacinto.

Completato in Trieste con l'aiuto di due dei miei attuali studenti, che preferiscono rimanere anonimi, il giorno 13 del mese di maggio dell'anno 2007.

## LA LIBERTÀ PERSONALE DI FARE SCIENZA PUÒ ESISTERE IN QUALUNQUE SISTEMA

---

*Yakov G. Sinai*

Princeton University, USA



© Cortesia di Donna J. Vukson,  
Princeton University

Quando frequentavo la scuola superiore, non ero uno studente particolarmente brillante. Non ho mai vinto una vera gara o un'Olimpiade della matematica; mi interessava invece lo sport, in particolare la pallavolo. Mio nonno era un prestigioso matematico, professore all'Università Statale di Mosca. Si chiamava Kagan e ancora oggi sono citati i suoi libri sulla geometria differenziale. Il mio fratellastro, G.I. Barenblatt, ed io eravamo sotto la tutela sua e di sua moglie (mia nonna). Dopo il diploma superiore, non ero sicuro di voler diventare un matematico. Allora mio nonno mi disse: "Se scegli di diventare un matematico, devi sapere che i matematici non sono come tutti gli altri, perché pensano ai loro problemi ventiquattro ore al giorno." Ancora oggi mi ricordo questa frase e ho sempre cercato di seguire questa regola.

Kolmogorov, uno dei grandi matematici del ventesimo secolo, è stato un mio professore. Egli si interessava moltissimo alle applicazioni della matematica e voleva che i suoi dottorandi si dedicassero a ricerche di questo tipo. Per diversi anni

Kolmogorov lavorò ai problemi statistici legati al moto dell'asse di rotazione terrestre. Al contrario, i suoi giovani ricercatori volevano fare solo matematica. Questo dette a Kolmogorov motivo di lamentarsi: "I miei studenti preferiscono scrivere un articolo per Doklady<sup>40</sup> piuttosto che fare qualcosa di utile." Certamente eravamo abbastanza liberi di fare ciò che volevamo, ossia matematica. Questa libertà personale può esistere in qualsiasi sistema politico. Ricordando quegli anni, cerco di non rimproverare troppo i miei studenti quando fanno qualcosa che non mi va a genio.

---

<sup>40</sup> Una delle riviste di matematica più famose nella Russia di quel tempo.

## LA SCIENZA È ESIGENTE MA NON È MAI NOIOSA

*Maxine F. Singer*

Carnegie Institution of Washington, USA



© Cortesia della Carnegie Foundation

Ogni scienziato scopre di avere una passione per la scienza in maniera diversa. Per molti, gli insegnanti di scuola sono fonte di ispirazione ed io, frequentando la scuola pubblica a New York, ne ho avuti di eccellenti. Gli eventi che caratterizzarono gli anni '30 e '40 fecero sì che l'insegnamento scolastico fosse un'opportunità per chi, altrimenti, avrebbe intrapreso una carriera di scienziato o studioso. La grande depressione, infatti, provocò disoccupazione e le università americane assumevano raramente studiosi donne o ebrei. Oggi, a distanza di oltre 55 anni, ricordo ancora i nomi e i volti di molti di quegli ottimi insegnanti. Grazie al professore di chimica delle superiori, i processi chimici erano più interessanti e "vivi" della biologia che, per una ragazza di città con un rapporto limitato con la natura, sembrava meramente descrittiva. Decisi quindi di scegliere chimica all'università.

Oltre alla scelta del mio compagno, la decisione più importante della mia vita fu quella di iscrivermi al Swarthmore College dopo la maturità nel 1948. I miei genitori non avevano frequentato l'università, quindi la scelta della facoltà ricadde esclusivamente su di me. Swarthmore è un piccolo posto tranquillo nel verde della campagna, diverso dalle trafficate strade dov'ero cresciuta; sembrava il posto ideale dove vivere e studiare, e fu proprio così. Il College mi assegnò una borsa di studio e così potei iscrivermi. Oltre alla chimica, studiai molta matematica e biologia, ma anche storia, filosofia, letteratura inglese e lingue straniere. Quando mi laureai, nel 1952, mi resi conto che la biochimica stava cominciando a rivelarmi quei processi che stavano alla base dell'incredibile diversità della natura.

Oltre agli studi formali, il Swarthmore College mi preparò all'ingresso nella comunità scientifica e mi sostenne nella mia attività. Può sorprendere che negli anni '50 in quel piccolo ambiente, frequentato soprattutto dalla classe media americana, legato alle radici ottocentesche e alle tradizioni religiose quacchere e focalizzato soprattutto sull'insegnamento delle arti liberali, nel senso più classico del termine, una giovane donna potesse acquisire una formazione adeguata alla carriera scientifica. Ma fu proprio lì che cominciai ad acquisire uno scetticismo iconoclastico, la volontà e la capacità di pensare in maniera autonoma, una certa saggezza come risultato delle difficoltà affrontate, l'accettazione delle critiche da parte dei

colleghi e, di conseguenza, un certo grado di fiducia in me stessa. Il College, inoltre, ci proteggeva dal mondo esterno, dove c'era poco spazio per gli scienziati donne.

Nell'autunno del 1952, all'età di 21 anni e fresca di matrimonio, iniziai il dottorato di ricerca presso il dipartimento di biochimica dell'Università di Yale. Questa fu un'altra scelta azzeccata. Il capo del dipartimento e il mio relatore, il prof. Joseph S. Fruton, considerava alla stessa stregua uomini e donne. L'argomento della mia tesi fu una delle prime ricerche sull'enzima fosfatasi. Il prof. Fruton mi diede l'ottimo consiglio di continuare la ricerca post dottorato presso il National Institutes of Health (NIH), appena fuori Washington DC, con il dott. Leon A. Happel, che a quel tempo (1956) era uno dei pochi biochimici che lavoravano con l'RNA o poliribonucleotidi. La struttura a doppia elica del DNA era stata descritta solo tre anni prima e sembrava che la chimica dell'acido nucleico e l'enzimologia stessero per diventare campi di grande interesse.

Happel stava analizzando i poliribonucleotidi formati dai difosfato nucleoside-5' per azione della fosforilasi polinucleotidica (PNPasi) scoperta nei batteri due anni prima da Marianne Grunberg-Manago e Severo Ochoa. Questo enzima e la DNA polimerasi I, scoperte da Arthur Kornberg e colleghi nello stesso periodo, furono i primi enzimi conosciuti che catalizzavano le sintesi dei polinucleotidi. Queste scoperte aprirono una nuova era per la biologia facendo collaborare biochimici e genetisti, sebbene alla fine si scoprì che la PNPasi non era responsabile per la sintesi dell'RNA e che la DNA polimerasi I non era l'enzima chiave per la replicazione del DNA.

Presso il laboratorio di Happel e nei dieci anni successivi quando ebbi un mio laboratorio indipendente al NIH, mi concentrai sui meccanismi della PNPasi e sulle reazioni catalizzate della ribonucleasi. Con la collaborazione di molti colleghi dottorati, descrivemmo i processi di polimerizzazione e depolimerizzazione catalizzati da enzimi, un meccanismo che si è dimostrato essere molto comune. In una reazione, l'enzima rimane legato al polinucleotide attraverso la successiva aggiunta e sottrazione di nucleotidi, piuttosto che rilasciare il polimero dopo ogni passo. Poi arrivò il momento in cui i nostri polimeri vennero usati da Marshall Nirenbert e Heinrich Matthaei per quel grandioso esperimento che decifrò la "parola" del codice genetico per la fenilalanina. Entro la primavera del 1961, molti di noi erano già al lavoro per sintetizzare altri poliribonucleotidi e in seguito trinucleotidi per determinare altri codoni.

Nel 1970 ero pronta a passare a qualcosa di diverso; i virus animali sembravano un campo interessante in cui la mia esperienza con i polinucleotidi poteva essere utile. Nell'estate del 1971 mio marito ed io, assieme ai nostri quattro figli, ci trasferimmo al Weizmann Institute of Science, in Israele, dove io trascorsi un anno sabbatico a studiare il virus della scimmia denominato SV40 proprio insieme al gruppo del famoso virologo prof. Ernest Winocour. Le endonucleasi di restrizione erano state caratterizzate poco tempo prima e noi le utilizzammo per studiare i genomi del SV40 difettosi contenenti sequenze ripetute di DNA di cellule ospiti delle scimmie. Quando ritornai al NIH, furono proprio queste sequenze ripetute ad attirare la mia attenzione. Studiammo e sequenziammo segmenti ripetuti di DNA a livello dei centromeri dei cromosomi dei primati – i cosiddetti  $\alpha$ -satelliti. Alla fine degli anni '70, la clonazione e il sequenziamento del DNA ci permisero di comprendere queste sequenze ripetute più di quanto avessimo potuto immaginare solo pochi anni prima. Fu molto emozionante scoprire che un

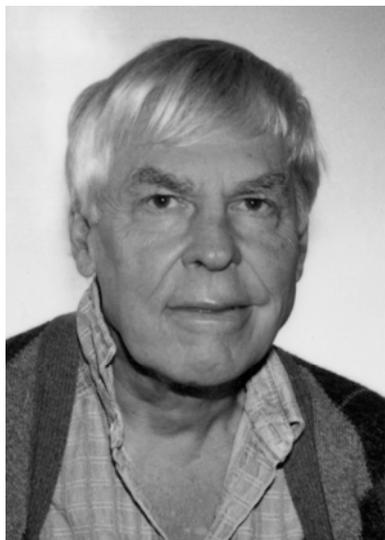
segmento di DNA ripetuto molte volte nel genoma umano è un elemento transponibile. Quando chiusi il laboratorio, verso la metà degli anni '90, stavamo studiando i meccanismi per cui questo elemento, chiamato LINEA-1, produceva copie di se stesso e si inseriva in nuove parti del genoma.

La ricerca scientifica è molto impegnativa e richiede un duro lavoro. Le esperienze frustranti però sono sempre compensate dalla curiosità di capire la natura e da quei momenti straordinari in cui un esperimento rivela una novità inaspettata. Sono passati sessant'anni da quando cominciai la scuola superiore e non ricordo un momento di noia.

## PRIMA MARGINALE, DOPO ECCELLENTE

*Stephen Smale*

City University of Hong Kong



© Cortesia di Stephen Smale

Stephen Smale non è sempre stato uno studente brillante. Quando frequentava la facoltà di matematica nel Michigan, egli si dedicava ad altri interessi, in particolar modo alla politica universitaria e ai viaggi. Durante il secondo semestre del primo anno di studio post laurea, smise di seguire addirittura due corsi e prese un voto mediocre ad un esame. Il direttore del dipartimento, T. H. Hildebrandt, si sentì obbligato ad avvertirlo che per rimanere all'interno del dipartimento avrebbe dovuto migliorare i suoi voti. Più tardi, nella prima lettera di referenze per un lavoro, Hildebrandt scrisse di Smale: “uno studente mediocre, inconcludente”.

Da matricola, comunque, Smale ebbe la fortuna di essere inserito, dopo un esame di valutazione, in una piccola classe con un professore eccezionale, Bob Thrall. Smale lo considera il suo “primo indimenticabile professore”. Il relatore della tesi di Smale, Raoul Bott, non era ancora molto conosciuto, ma propose a Smale un ottimo problema. Smale era il

primo studente di dottorato in assoluto di Bott; il problema era accessibile e gettò le basi del lavoro creativo che avrebbe sviluppato successivamente. Poco tempo dopo, Smale dimostrò il suo famoso ed antiintuitivo teorema secondo cui è possibile “rivoltare” la sfera bidimensionale nello spazio tridimensionale. L'intero studio della teoria dell'immersione era al suo apice e la topologia si trovava al centro della scena matematica.

Non succede spesso in matematica, nelle scienze o in ingegneria, che uno scienziato trovi porte aperte quando passa allo studio di altre sottobranche, per cui Smale si aprì le porte da solo. Dalla topologia si indirizzò verso i sistemi dinamici, dove scoprì il suo famoso ed innovativo “ferro di cavallo”, caratterizzato dalla stabilità in mezzo al caos. Poco dopo, affrontò la congettura classica di Poincaré e affermò di poterla dimostrare anche per ipersfere di dimensioni maggiori di 4, superando la cosiddetta barriera dimensionale.

Riassumendo, nella sua esperienza di matematico, Smale trovò da giovane alcuni buoni professori e problemi accessibili: entrambi gli permisero di fare passi da gigante nel suo lavoro.

## LA SCIENZA OFFRE UN IMPORTANTE CONTRIBUTO

*Susan Solomon*

National Oceanic and Atmosphere Administration, USA



© Cortesia di Carlye Calvin

La mia vita iniziò a Chicago e la mia passione per la scienza nacque guardando le avventure sottomarine di Jacques Cousteau alla televisione. Alle superiori, la convinzione che la scienza fosse la strada giusta per me si consolidò quando ebbi la fortuna di classificarmi terza alla fiera nazionale della scienza, con un progetto che misurava la quantità di ossigeno in miscele di gas. In seguito, all'università (mi iscrissi a chimica all'Illinois Institute of Technology di Chicago), fui colpita dagli studi sulla chimica dell'atmosfera del pianeta Giove: capii allora che mi si addiceva di più studiare la chimica in un pianeta piuttosto che in una provetta. Dopo essermi laureata, proseguii gli studi alla University of California di Berkeley. La mia tesi di dottorato, che conseguii nel 1981, riguardava la chimica di un pianeta: non di Giove, ma della Terra.

Prima della scoperta del buco dell'ozono, il mio lavoro era focalizzato su quelli che si potrebbero definire gli aspetti "esoterici" dello studio dell'atmosfera. Cercavo spiegazioni sull'impatto dei fattori naturali, tra cui l'aurora, nella chimica della mesosfera, termosfera e stratosfera. Poi fu scoperto il buco dell'ozono e questo cambiò ogni cosa. Di primo acchito pensai che l'azoto reattivo, legato al fenomeno dei protoni solari, potesse essere responsabile del buco dell'ozono. Tale ipotesi non era tuttavia confermata dai dati, così pensai ad altre possibilità e cominciai a chiedermi se causa del fenomeno potessero essere le reazioni chimiche sulla superficie delle particelle che formano le nubi stratosferiche polari. Erano già state effettuate misurazioni satellitari di nubi stratosferiche polari, ma venivano considerate una curiosità piuttosto che argomenti degni di importanza. Nell'Artide non erano stati ancora osservati i cambiamenti nell'ozono osservati invece nell'Antartide che, essendo il posto più freddo della Terra, presenta molte più nuvole rispetto al più mite Artico. Nessuno aveva ancora immaginato che le reazioni chimiche di superficie, in cui interveniva il cloro, potessero significativamente influenzare la stratosfera, ma io cominciai a pensare a come reazioni del cloro che avessero luogo nelle nuvole potessero ridurre l'ozono. In un articolo su *Nature*<sup>41</sup>, sostenni che sulla superficie delle nubi stratosferiche polari può verificarsi una reazione tra l'acido cloridrico e il nitrato di cloro. Questa reazione non avviene in fase gassosa, ma si verifica più efficacemente sulla superficie delle nuvole, in seguito all'incorporazione dell'acido nella superficie stessa. A questo punto entra in gioco il nitrato di cloro e si ottiene

<sup>41</sup> Solomon S., R.R. Garcia, F.S. Rowland e D.J. Wuebbles, On the depletion of Antarctic ozone, *Nature*, 321, 755-758, 1986.

una reazione sorprendentemente veloce. Questa fu la teoria da me formulata e si rivelò poi essere esatta.

Fui anche coinvolta nell'osservazione del fenomeno, perché avevo ribadito la necessità di recarsi in Antartide a fare qualche misurazione per capire cosa stesse succedendo. Una cosa è vedere ridursi l'ozono, un'altra cosa è misurare le sostanze chimiche che effettivamente lo influenzano, ed essere in grado di affermare, col sostegno di dati scientifici, il perché stia cambiando. Sostenni che fosse necessario organizzare una spedizione terrestre in Antartide ed ebbi la fortuna di condurne una nel 1986 e una nel 1987. La nostra base antartica era la Stazione di McMurdo dove, tra le altre cose, misurammo come l'aria sopra i ghiacci del Sud assorbisse la luce della luna nella lunga notte polare. Fui incredibilmente fortunata poiché due miei colleghi del Laboratorio di Aeronomia avevano progettato e costruito uno strumento di alta qualità ed estremamente sensibile per la misurazione dell'intensità della radiazione solare nella regione visibile dello spettro. Con questo strumento non solo potemmo misurare l'ozono, ma anche il diossido di azoto e il diossido di cloro, due composti chimici molto importanti. Risultò presente una grande quantità di diossido di cloro che, senza le reazioni in quelle nubi, non avrebbe potuto esserci. Così, effettuammo alcune prime misurazioni che mostravano cosa causasse il buco nell'ozono.

Vivere in Antartide per tre mesi fu una delle esperienze più emozionanti, stimolanti e fantastiche della mia vita. Quando la porta dell'aeroplano si aprì e quell'aria incredibilmente fredda ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) mi colpì il viso, ebbi la sensazione di trovarmi su un altro pianeta. Non ho mai visto una bellezza naturale tanto incontaminata. Gli intensi blu e viola del crepuscolo antartico sono incredibili. Le nubi della stratosfera polare –proprio quelle nubi che facilitano la riduzione dell'ozono– sono meravigliose. Somigliano a piccoli arcobaleni sospesi. Fu un grande onore quando, nel 1994, il Ghiacciaio Solomon e la Sella Solomon furono così chiamati a ricordo delle ricerche in Antartide da me condotte. Rimasi anche molto colpita quando ricevetti la United States National Medal for Science, l'onorificenza più alta per uno scienziato americano, per le mie intuizioni nella spiegazione del buco dell'ozono.

Altri studi che ho svolto con particolare interesse riguardano le emissioni vulcaniche che, seppure senza danneggiare direttamente lo strato di ozono, possono accelerare l'azione distruttiva dei CFC. Dopo eruzioni vulcaniche esplosive possono formarsi aerosol di solfati liquidi che possono causare grandi perdite di ozono a medie latitudini attraverso processi analoghi a quello dell'Antartide. Ho anche fatto delle ricerche su come i gas diversi dal biossido di carbonio possano contribuire al riscaldamento del pianeta. Tra le altre cose, un argomento che io e i miei colleghi abbiamo approfondito è il ruolo delle sostanze chimiche perfluorate come  $\text{CF}_4$  e  $\text{SF}_6$ . Oggi queste sostanze non sono presenti in grandi quantità nell'atmosfera, quindi non sto avanzando l'idea che oggi contribuiscano significativamente al riscaldamento globale. Tuttavia, abbiamo dimostrato che queste molecole vivono letteralmente migliaia di anni, potrebbero addirittura essere immortali ed assorbono grandi quantità di luce infrarossa, quindi di gas a effetto serra. Una molecola che può durare più a lungo delle Piramidi d'Egitto dev'essere rilasciata nell'atmosfera con estrema cautela. Infatti, uno dei legami più interessanti tra l'assottigliamento dell'ozono e i cambiamenti climatici consiste nel fatto che per risolvere il problema dell'ozono, la scienza deve non solo studiare l'impatto ambientale, ma anche la componente temporale. Tutto fa parte del ruolo della scienza, che va usata per indicare alla società le nuove domande su cui è necessario riflettere:

cosa sta succedendo in questo momento? Ma soprattutto, se qualcosa dovesse accadere domani, per quanto tempo si trascineranno le conseguenze?

Recentemente ho cambiato ambito, dedicandomi allo studio di come varie molecole negli strati più bassi dell'atmosfera assorbono la luce solare. Questi studi sono rilevanti per il problema del clima, ma si riferiscono più in particolare a come funziona il sistema. Così mi sto spostando in un'area che è legata al problema del clima, ma ha caratteristiche un po' più "esoteriche". Mi sto riavvicinando ai miei primi lavori, come quelli sull'aurora, e spero che il mio contributo aiuti alla comprensione del modo in cui si propagano le radiazioni, cioè, di come la luce solare effettivamente attraversa l'atmosfera.

Mi considero una persona estremamente privilegiata. Ho la soddisfazione di fare cose utili. La presenza di un obiettivo e la consapevolezza di fornire un servizio pubblico sono aspetti fondamentali del mio lavoro di scienziato. Questo pianeta ospita molte persone e in futuro ve ne saranno ancor di più che immetteranno ogni tipo di sostanza chimica nell'atmosfera. Così, il ventunesimo secolo offrirà enormi opportunità in molte aree della chimica ambientale, inclusa quella dei cambiamenti climatici. La scienza svolge un ruolo molto importante per la società, poiché aiuta a capire ciò che accade e perché. Ma, secondo me, è proprio lì che il mio lavoro come scienziato finisce e quello di altri –economisti e politici– inizia. La scienza fornisce un importante contributo a molte decisioni della società, ma è un contributo soltanto. E quando noi scienziati ci atteniamo ai nostri valori storici dell'oggettività, lasciando la politica e le opinioni personali agli altri, penso che offriamo al mondo il massimo contributo possibile.

## LA TECNOLOGIA OFFRE MIGLIORAMENTI

*Robert M. Solow*

Massachusetts Institute of Technology, USA



© Cortesia di Donna Coveney (MIT)

A differenza della maggior parte delle persone in questo libro, io sono un economista e non un biologo, o un chimico o un fisico. La mia storia, quindi, sarà probabilmente alquanto diversa dalle altre.

Durante la grande depressione degli anni '30, frequentavo le superiori e mi diplomai proprio all'inizio della Seconda Guerra Mondiale. Per tre anni, partecipai alla guerra, da soldato. Agli occhi della mia generazione, era più che evidente che vivevamo in una società marcia: disoccupazione, dittature e guerre erano tutti elementi distruttivi che sembravano essere strettamente legati. La disoccupazione e l'inflazione in Germania avevano contribuito all'ascesa al potere di Hitler e dei nazisti e la guerra fu a quel punto inevitabile. Questi eventi li vissi in prima persona.

Quando arrivò il momento di scegliere la facoltà universitaria, propendetti per l'economia perché volevo comprendere una delle grandi catastrofi degli anni '30. Inoltre, era una materia precisa e logica piuttosto che solamente ideologica o retorica. Non ho mai pensato che l'economia possa essere una scienza esatta come la fisica o come la biologia, ma penso sia molto importante osservarla con attenzione e pensare con chiarezza, lasciando in disparte i pregiudizi e gli interessi personali. Questo aspetto in particolare può essere più importante in campo economico che scientifico, in quanto in economia non è possibile fare esperimenti e gli interessi personali sono molto forti.

Quando terminai gli studi e cominciai ad insegnare e a fare ricerca, nacquero una serie di nuovi problemi in economia. Le nazioni più povere del mondo, incluse alcune in Europa, stavano cominciando a pensare al proprio sviluppo economico a lungo termine e a colmare il divario, soprattutto a livello salariale, con i paesi ricchi ed industrializzati. Le nazioni ricche, dal canto loro, anch'esse con problemi di povertà, pensavano alla crescita economica e a modi per aumentare costantemente il proprio reddito. Iniziai così a lavorare verso una migliore comprensione dell'economia sul lungo termine e dei processi che regolano la produttività umana e il miglioramento degli standard di vita. Il problema della disoccupazione non è ancora del tutto risolto, ma per lo meno l'economia mondiale non è più stata colta da una profonda depressione nei 60 anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale.

Lo studio della crescita economia a lungo termine si rivelò un ottimo argomento di ricerca, o per lo meno fu una scelta fortunata. Nel 1956 e 1957 riuscii a capire la dinamica della crescita a lungo termine di un'economia nazionale. Gli elementi base (manodopera, capitale, risorse naturali, tecnologia) erano da considerare i fattori di un modello che poteva essere applicato a tutti gli eventi noti che avevano caratterizzato le economie moderne. A cinquant'anni di distanza, questo modello è ancora usato dagli economisti di tutto il mondo, sebbene molti abbiano apportato dei miglioramenti.

Attraverso il modello, era possibile studiare quale fosse il motore della crescita economica: la crescita occupazionale, la meccanizzazione, ecc. Fu sorprendente notare che nella maggior parte dei casi, l'aumento della produttività e del reddito pro capite non era dovuto tanto al capitale materiale, ossia i macchinari e le costruzioni, ma alle tecnologie più avanzate e a all'istruzione e alla formazione dei lavoratori che avrebbero impiegato la nuova tecnologia. Lo stesso discorso valeva anche nel campo agricolo. È forse vero che il lato positivo dei macchinari avanzati è che permettono un rapido passaggio della tecnologia dalla teoria alla pratica. Per nuova tecnologia si intende anche ogni miglioramento nell'organizzazione della produzione. Tutto ciò vale chiaramente per quelle nazioni che hanno già intrapreso il cammino dell'industrializzazione; per i paesi più poveri, la priorità è iniziare ad utilizzare le macchine al posto delle braccia dell'uomo.

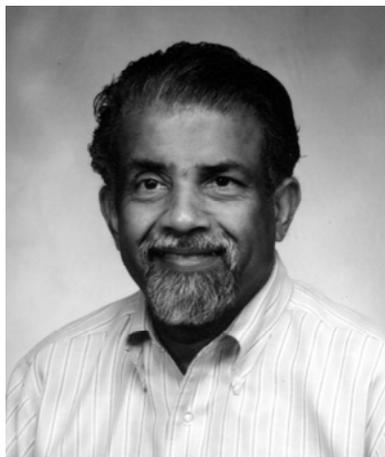
Lo studio della crescita economica sul lungo termine non è concluso e forse non lo sarà mai. Sussiste infatti una profonda differenza tra l'economia (ed altre scienze sociali) e le scienze naturali: con l'evoluzione imprevedibile delle società e delle possibilità tecnologiche, anche molte delle relazioni basilari causa-effetto subiscono dei cambiamenti e l'economia, di tanto in tanto, deve ristabilire nuove idee di base.

Noi viviamo sul breve termine e in questa prospettiva questioni quali l'occupazione, la recessione e l'inflazione rimangono attuali ed importanti. I tassi di disoccupazione in Europa erano soliti essere inferiori di due o tre punti rispetto agli Stati Uniti. Ora, sono superiori di due o tre punti. È anche vero che l'Europa presenta al suo interno grandi differenze. Perché? Molti economisti, me incluso, stanno cercando di rispondere a queste domande. Esistono già alcune spiegazioni generalmente accettate, ma non c'è consenso su tutto. Ogni anno otteniamo nuove prove e alcuni anni abbiamo anche nuove idee; e ogni tanto queste nuove idee sono anche buone.

## UN RESOCONTO DEL MIO CONTRIBUTO ALLA FISICA TEORICA

*Ennackal C.G. Sudarshan*

University of Texas at Austin, USA



© Cortesia di E. C. G. Sudarshan

Fui catturato dalla bellezza della geometria quando frequentavo le scuole medie, mentre durante gli anni delle superiori scoprii la geometria analitica. Poi feci la piacevole scoperta che gli schemi matematici potevano essere usati per descrivere la fisica. All'inizio imparai a calcolare il periodo del pendolo semplice e la lunghezza focale di una lente. I primi anni universitari mi rivelarono che i modelli matematici potevano essere utilizzati per capire i vari aspetti della fisica.

Nella ricerca mi avvalsi di questo utilissimo metodo; nel mio primo lavoro usai modelli di tracce di raggi cosmici in emulsioni fotografiche in presenza di rumore che disturbava queste misure; potevamo così determinare (e lo facemmo) le masse delle particelle dei raggi cosmici. Usai inoltre i modelli statistici per determinare il numero di mesoni prodotti dall'annichilazione di antiprotoni.

Il mio primo grosso contributo alla fisica delle particelle fu la determinazione della forma precisa della radioattività beta. Questo è un processo nel quale un nucleo aumenta la propria carica di un'unità ed allo stesso tempo emette un elettrone con un neutrino. Anche se i diversi tipi di radioattività, alfa, beta e gamma erano conosciuti dall'inizio del ventesimo secolo, fu la mia ricerca per il dottorato nel 1957 che stabilì la legge precisa (vettoriale-assiale), probabilmente la scoperta più importante di quel decennio. Allora non avevo ancora 25 anni.

La meccanica quantistica è di solito formulata per sistemi isolati. Quando il sistema è aperto alle influenze dall'esterno, abbiamo l'analogo dei processi stocastici. Nel 1961 proposi una formulazione della meccanica quantistica stocastica che è ora uno strumento rilevante per la computazione quantistica. È curioso come questi risultati siano stati riscoperti molte volte dal 1961.

Quando le particelle possono essere generate o distrutte, il modello matematico adeguato a descrivere questi processi è quello del campo quantistico, particolarmente utile per analizzare l'emissione e l'assorbimento di luce. Tuttavia, la maggior parte delle volte era consuetudine usare l'ottica ondulatoria ordinaria. Nel 1963 dimostrai che, per la maggior parte delle applicazioni, questa Teoria Ottica Equivalente è una corrispondenza esatta ed è ora standard nell'ottica quantistica. Insieme a John Klauder ho pubblicato un libro sull'ottica quantistica.

La legge (classica) della radioattività è rigorosamente esponenziale. Ma nella teoria quantistica per tempi molto brevi il tasso di decadimento si annulla; e così se uno osserva

molto di frequente l'oggetto instabile, esso non decadrà affatto! Questo fenomeno, che scoprii insieme a Baidyanath Misra, ora è conosciuto come l'effetto di Zenone quantistico. Da allora questo effetto è stato più volte verificato sperimentalmente.

Gli stati quantistici possono essere sovrapposti come le onde ordinarie. Ma quando consideriamo stati a due particelle una tale sovrapposizione può condurre a correlazioni non locali denominate *entanglement* quantistico, scoperto da Schrödinger e riscoperto da Einstein, Podolsky e Rosen. In queste correlazioni sembra che l'informazione sia trasmessa istantaneamente e generi ciò che oggi è noto come teletrasporto quantistico. Abbiamo sviluppato metodi per rilevare l'*entanglement* per vari tipi di stati e facciamo uso del metodo della tomografia quantistica, un adattamento della tomografia medica. Questo lavoro è stato realizzato in collaborazione con un fisico russo e due italiani (Manko, Marmo e Zaccaria).

Il grande miracolo è che il mondo fisico può essere compreso attraverso i modelli matematici, i quali possono avanzare previsioni verificabili in laboratorio. Fin dall'inizio della mia carriera scientifica ciò mi ha affascinato e persino sconcertato.

---

## LA SPLENDIDA LOGICA DELLA NATURA

---

*Gerardus 't Hooft*

Utrecht University, The Netherlands



© Cortesia di Gerardus 't Hooft

Comprendere le Leggi della Fisica è ciò che ha catturato la mia immaginazione quando ero bambino. Le automobili, le biciclette, le radio erano state inventate da persone che avevano compreso il modo in cui operano le forze della natura. Come avevano fatto? Immaginavo che queste invenzioni dovessero essere state precedute da un'intuizione che anch'io, forse, *ero in grado di capire*: la ruota. Le ruote sono incredibili; ci permettono di muovere carichi pesanti su superfici lisce con una minima resistenza. Il mondo animale e vegetale non conosce le ruote. Esse devono pur essere state scoperte da qualcuno e provavo invidia per questa persona. Come si giunse a questa scoperta? Sarei stato abbastanza intelligente da inventare la ruota se essa non fosse ancora stata inventata? Probabilmente no.

La mia mente era spesso occupata da domande di questo genere. Forse non era stato ancora scoperto tutto; certamente non eravamo ancora in grado di curare tutte le malattie, di eliminare la forza di gravità

o di andare sulla luna. Si pensava che esistessero immense forze all'interno degli atomi, ma si diceva che queste "piccolissime particelle" non erano state ancora ben comprese. Immensi mostri chiamati dinosauri erano vissuti sulla terra milioni di anni prima. Sicuramente ci dovevano essere molte altre cose da scoprire, e se così era, decisi di scoprirle tutte.

La cosa bella delle leggi della Natura è che sono imparziali. Sono le stesse per tutti e nessuno ha il potere di cambiarle, al contrario delle Leggi inventate dagli uomini: bisogna parlare in modo educato, mangiare con il coltello e con la forchetta, andare a scuola e lavarsi i denti. Qualcuno potrebbe cambiare queste regole dal giorno alla notte senza preavviso, ma è impossibile farlo con le Leggi della Natura. Inoltre queste Leggi non contengono contraddizioni, non possono.

Ho avuto la grande fortuna di avere buoni insegnanti che mi hanno introdotto alla matematica. Questa materia è un linguaggio superiore con cui si possono descrivere le Leggi della Natura ed è migliore dei linguaggi normalmente usati dagli esseri umani. La matematica descrive cose che sono vere:  $\frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6}$ . Niente e nessuno può cambiare questo. Molte proprietà dei numeri e delle figure geometriche possono essere comprese usando la matematica; ad esempio, se si disegna un triangolo in cui il rapporto tra i lati è pari a 3, 4 e 5,

allora uno dei suoi angoli è retto. Questo è abbastanza comprensibile. Mi resi conto che, se volevo compiere nuove scoperte sulla Natura, dovevo conoscere a fondo la matematica.

I miei compagni di scuola non si interessavano molto a queste cose, ma non ne ero infastidito. A scuola divenni molto bravo in matematica e all'università conoscevo già abbastanza bene la fisica, o almeno così pensavo; in realtà, dovevo imparare ancora molto. Le semplici leggi meccaniche del movimento potevano essere trattate dalla matematica molto più elegantemente di quanto pensassi. Per quanto riguarda lo studio degli atomi, esisteva un fantastico schema per il controllo delle piccole particelle chiamato "Meccanica Quantistica", che si basava su una matematica ancora più stravagante. Alla base di tutto, regnavano le splendide leggi della logica. La natura si dimostrò ancora più bella di quanto avessi mai immaginato.

C'era ancora molto da scoprire e anche oggi *tutti* gli scienziati, non solo i più brillanti, stanno ancora compiendo scoperte. La scoperta dà una grande carica, è meraviglioso. Anch'io ne ho fatte, di piccole e di grandi. Una volta sono rimasto senza parole: un'equazione sulla quale avevo lavorato per mesi finì per descrivere *esattamente* alcune forze base della Natura, ma non avevo osato crederci; non avevo considerato tutte le conseguenze logiche dell'equazione e avevo continuato a pensare che questa semplice identità sarebbe stata troppo perfetta da applicare al mondo reale. Adesso, sappiamo che è possibile.

Paul Dirac fece la stessa esperienza: era riuscito a derivare una nuova equazione per l'elettrone, usando solo la logica. Ma poi si accorse che la sua equazione indicava l'esistenza di anti-particelle, elettroni con carica positiva invece che negativa. Dirac pensò che fosse impossibile che avesse scoperto delle nuove particelle da una semplice equazione, così suppose che fossero protoni. Tuttavia, poiché c'erano diverse discrepanze con le proprietà dei protoni, egli pensò di aver commesso degli errori. Ebbene, poco tempo dopo l'anti-particella dell'elettrone venne scoperta sperimentalmente, esattamente in accordo con l'equazione di Dirac. Si dice che Dirac abbia esclamato: "Questa equazione è più intelligente di chi l'ha inventata!"

Personalmente, devo dire di aver avuto la fortuna dalla mia parte: sono stato fortunato a nascere con una mente curiosa, desiderosa di investigare il mondo, ad avere degli ottimi insegnanti e a cogliere le opportunità che mi sono state offerte.

Dalla mia infanzia ad oggi, il mondo è cambiato molto e la maggior parte di questi cambiamenti sono dovuti alle scoperte scientifiche. L'uomo è andato sulla Luna, ha imparato a conoscere le particelle di cui sono composti gli atomi e le forze da cui essi sono controllati. Ma molto ancora resta da scoprire: non siamo ancora andati su Marte, sugli altri pianeti e sulle altre lune; non siamo in grado di capire quali siano quegli elementi ancora più piccoli che controllano le particelle dell'atomo, stringhe, o membrane, o qualcos'altro; non capiamo come la forza gravitazionale quadri con ciò che sappiamo riguardo a queste particelle. I biologi stanno decifrando i codici del DNA, ma non sono ancora in grado di curare tutte le malattie, non sanno come migliorare i codici genetici manualmente o come scrivere interamente nuovi codici genetici per organismi che ancora non esistono. I chip di memoria nei nostri computer sono ancora all'età della pietra se confrontati con ciò che si potrebbe fare a livello teorico.

Le generazioni future probabilmente saranno in grado di capire queste cose. Forse noi siamo tutti dinosauri in confronto alle generazioni di un lontano futuro, se i bambini di oggi decideranno di sfruttare le incredibili opportunità che la scienza può offrire e compiere nuove scoperte. È come giocare a scacchi con la natura, ma con regole migliori, dato che non sono state fatte dall'uomo e sono imparziali. Chi avrà le idee più brillanti, arriverà primo. Solo pochi decenni fa, i paesi poveri, o i paesi separati dall'Occidente dalla Cortina di Ferro, erano in una posizione di forte svantaggio rispetto alla possibilità di compiere qualsiasi scoperta. Oggi la situazione è molto migliorata: tutto quello che serve è una connessione ad Internet e sarà possibile accedere alle conoscenze più aggiornate dei migliori laboratori scientifici del mondo.

## LA STORIA DEL LASER

*Charles H. Townes*

University of California at Berkeley, USA



© Cortesia di Charles H. Townes

Dalla prima volta in cui l'uomo vide la luce del sole fino a poco tempo fa, la luce da lui usata proveniva prevalentemente da un'emissione spontanea, come un'emissione casuale di fonti incandescenti. I laser, invece, utilizzano il principio dell'emissione stimolata, secondo cui l'energia sprigionata dal sistema molecolare o atomico ha la stessa distribuzione di campo e la stessa frequenza della radiazione stimolante ed è, quindi, in fase con essa. Questo tipo di radiazione elettromagnetica possiede caratteristiche molto particolari. Il sottile raggio di luce prodotto dalla

maggioranza dei laser mantiene direzione e piccole dimensioni anche su lunghe distanze e perciò questo raggio sottile di luce coerente è adatto ad un'ampia gamma di applicazioni. Poiché la luce è amplificata da un'emissione stimolata, la sua potenza può essere infinitamente grande. I laser sono usati nel campo industriale per tagliare i metalli e altri materiali e per apparecchiature ad alta precisione. In campo medico, i laser sono utilizzati in chirurgia per operazioni che non riuscirebbero con altri metodi. L'olografia è basata sul fatto che il fronte d'onda, riflesso da un oggetto illuminato con la luce del laser, può essere ricostruito per produrre un'immagine tridimensionale dell'oggetto stesso. I laser hanno anche aperto la strada a nuove ricerche scientifiche grazie alle nuove apparecchiature per le misurazioni di precisione, lo studio dei cristalli, le reazioni chimiche e la combustione, la fisica del plasma, le temperature molto basse e la comunicazione. Un solo raggio laser, in un breve periodo di tempo, può essere più potente di tutta l'energia elettrica utilizzata in un dato momento sulla terra; esso può essere anche così delicato e preciso da riuscire a raccogliere e a muovere una singola cellula biologica senza provocarle alcun danno. Desidero cogliere questa occasione per parlare del mio contributo all'invenzione del laser e per proporre qualche breve riflessione sulla scienza.

Quando ero studente, mi interessavano la storia naturale, la biologia, il nuoto, l'editoria dei quotidiani, il football, ecc. Alla fine, il mio interesse nei confronti della fisica ebbe la meglio. Rimasi affascinato da questa materia fin dalla prima lezione; in particolare rimasi colpito dalla sua struttura meravigliosamente logica. Terminai gli studi con il conseguimento del dottorato a Caltech, con una tesi sulla separazione degli isotopi e sugli spin nucleari.

Durante la Seconda Guerra Mondiale, fui membro del personale tecnico dei laboratori telefonici Bell, dove lavorai alla progettazione di sistemi di navigazione radar e di bombardamento e alla tecnologia ad essi relativa. A questo punto, cominciai a rivolgere il mio interesse a come applicare alla spettroscopia le tecniche con microonde usate nella ricerca sui laser. Pensavo, infatti, che questa applicazione sarebbe diventata la nuova chiave di lettura della struttura degli atomi e delle molecole e che avrebbe controllato le onde elettromagnetiche.

Continuai la ricerca presso la Columbia University, come professore di fisica. In particolare mi concentravi sulle interazioni tra microonde e molecole e sull'utilizzo delle microonde per studiare la struttura delle molecole, degli atomi e dei nuclei. Nel 1951 pensai a come poter amplificare e generare onde elettromagnetiche con emissioni stimolate e, qualche mese più tardi, i miei colleghi ed io cominciammo a progettare un apparecchio che usava ammoniaca sotto forma di gas come mezzo attivo. Il primo apparecchio funzionante fu pronto tre anni dopo e i miei studenti ed io lo chiamammo "maser", che sta per *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation*<sup>42</sup>. Nel 1958, mio cognato Arthur Schawlow ed io avanzammo la teoria che i maser potevano operare nella regione ottica ed infrarossa e proponemmo una dimostrazione pratica che risultò in un articolo sui maser ottici ed infrarossi o laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*<sup>43</sup>). Il resto, come si dice, è storia.

Continuai a coltivare il mio interesse nel campo dell'elettronica quantistica e dell'astronomia al MIT e in seguito a Berkeley che è tuttora il centro della mia attività. L'idea secondo cui è possibile contribuire all'avanzamento della scienza in maniera rilevante, anche a livello individuale, ha un fondo di verità e l'invenzione del laser ne è una prova. Tuttavia, al tempo della sua invenzione, nessuno avrebbe potuto prevedere la vasta gamma di applicazioni che si conoscono oggi e che sono state scoperte grazie agli sforzi di molti scienziati. In generale, lo sviluppo scientifico su larga scala è un fenomeno sociale che dipende dal duro lavoro, dal sostegno reciproco di molti scienziati e dalle società in cui essi vivono. Gli scienziati si avvalgono del lavoro dei grandi colleghi del passato. Non si può partecipare all'impegno scientifico senza apprezzare l'emozionante effetto cumulativo di questa grande cooperazione e il contributo collettivo alla scienza. È compito degli scienziati chiedersi se la società potrebbe trarre un ancor maggiore beneficio da questo "effetto cumulativo", se una parte maggiore delle attività umane fosse coordinata in modo da produrre effetti di mutuo vantaggio, come avviene nella ricerca scientifica. Per natura prediligiamo i settori non scientifici, sicché diventa difficile riconoscere chiaramente e raggiungere con fermezza i nostri principali obiettivi. In questi settori ci sono raramente risultati sperimentali chiari che possono fungere da punto di riferimento quando commettiamo degli errori. Ma l'imponente edificio della scienza è una dimostrazione di quanto sia possibile ottenere attraverso l'impegno comune e la ricerca costante, obiettiva e scrupolosa della verità.

I laser fanno anche riflettere su un altro aspetto della scoperta e dell'invenzione scientifica. In alcuni casi, essi sono stati di grande utilità per l'uomo. Non si può chiudere la scienza in un cassetto, solo per il timore che possa essere usata a volte per scopi distruttivi. Questo

<sup>42</sup> Amplificazione di microonde tramite emissione stimolata di radiazioni (*N.d.T.*)

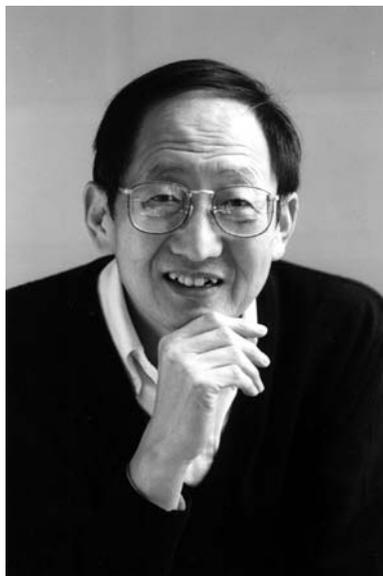
<sup>43</sup> Amplificazione di luce tramite emissione stimolata di radiazioni (*N.d.T.*)

atteggiamento equivarrebbe a trascurare la grande possibilità di arricchimento della vita umana e di alleviamento delle sofferenze. Finché la mente umana sarà curiosa, scoprirà nuovi orizzonti e inventerà nuovi strumenti. Il progresso dipende dalla nostra capacità di far buon uso di questa caratteristica propria della nostra specie.

## LA CURIOSITÀ, IL MIO TALENTO NATURALE

*Daniel C. Tsui*

Princeton University, USA



© Cortesia della Princeton University

Nella mia vita ho percorso diverse strade. Trascorsi l'infanzia in un villaggio sperduto nella regione di Henan, in Cina, dove la mia attività principale era aiutare mio padre a lavorare la terra. I miei genitori, che non hanno mai avuto l'opportunità di imparare a leggere e a scrivere, compresero che non avrei potuto ricevere un'istruzione adeguata nel villaggio e così colsero la prima e forse unica occasione che si presentò e mi fecero partire con un parente. Dopo varie peregrinazioni, all'età di 11 anni, mi stabilii nella lontana Hong Kong.

Li frequentai la Pui Ching School, dove ebbi degli insegnanti eccezionali, specialmente in scienze naturali, che furono fonte di grande ispirazione. In tempi normali sarebbero stati professori universitari, ma la guerra li costrinse a partire e l'insegnamento nelle scuole superiori era la loro unica risorsa. Poiché vivevamo in una città prevalentemente commerciale, inconsciamente gli insegnanti ci spingevano a guardare al di là dei soldi e a considerare l'esplorazione delle nuove frontiere della conoscenza umana come un'attività stimolante ed intellettualmente appagante.

Io volevo diventare medico e fui ammesso alla scuola di medicina della National Taiwan University; tuttavia, la necessità di ricevere una borsa di studio mi condusse all'università frequentata dal sacerdote della mia chiesa, Augustana College negli Stati Uniti, dove conseguii la laurea in matematica.

Guardai con ammirazione a C.N. Yang e a T.D. Lee che ricevettero il Premio Nobel per la fisica nel 1957 e che avevano studiato all'Università di Chicago e così scelsi di continuare gli studi lì, conseguendo il dottorato in fisica sperimentale. Ebbi grande soddisfazione di lavorare per e con il professor Royal Stark, un energico e giovane sperimentale dello stato solido che mi diede l'opportunità di colmare le mie lacune e di imparare gradualmente: dai progetti d'ingegneria, alla saldatura, alla lavorazione meccanica, fino ad arrivare alla costruzione dell'apparato di laboratorio.

Lasciai Chicago nel 1968 ed accettai un posto di ricercatore di fisica dello stato solido presso i laboratori Bell nel New Jersey. Fu proprio a questo punto che abbandonai la strada familiare della fisica dei metalli per entrare nel nuovo strano terreno di quella che oggi

chiamiamo la fisica a bassa dimensionalità degli elettroni nei semiconduttori. Altrove ho descritto questo cambiamento come un “cammino in una nuova frontiera”. Nel mio caso, “le scoperte” sono venute facendo (e rifacendo) esperimenti, parlando con altri scienziati dei laboratori Bell (all’epoca piuttosto provocatori), riflettendo sulle varie teorie, beneficiando dei progressi tecnologici e collaborando con gli altri. Solo con il tempo, quando gli esperimenti confermavano alcune delle mie sensazioni e producevano più informazioni, il risultato della ricerca diventava più chiaro.

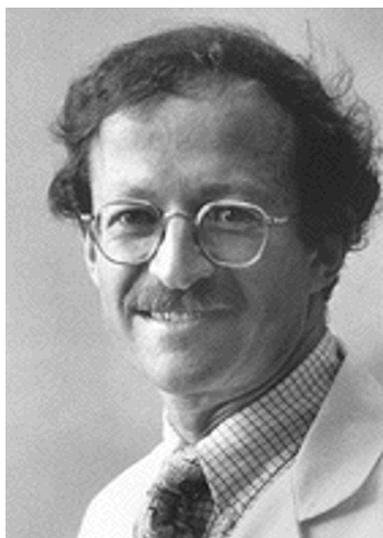
La scoperta per cui a Horst Stormer e al sottoscritto fu assegnato il Premio Nobel per la fisica nel 1982 riguarda la scoperta “...che gli elettroni, agendo collettivamente in campi magnetici forti, possono formare nuovi tipi di particelle la cui carica è una frazione della carica dell’elettrone”; il comitato per il Nobel la descrisse “la scoperta di una nuova forma di fluido quantistico frazionario”. Nel 1982, condividemmo gli inattesi ed emozionanti risultati con un teorico, Robert Laughlin, il quale solo un anno più tardi fornì le equazioni per la comprensione teorica del fenomeno e condivise con noi il Premio Nobel.

Quindi, non ho storie affascinanti su esperimenti scientifici eseguiti da bambino, né ho vissuto momenti di gloria per aver compreso qualche fenomeno. Il mio talento naturale è stata la curiosità, che mi ha portato ai confini della conoscenza scientifica; la fortuna mi ha poi aiutato, tramite gli esperimenti, a dimostrare fenomeni che continuano a generare nuovi risultati e conoscenze. Ho insegnato all’Università di Princeton per oltre vent’anni, guidando gli studenti nelle loro ricerche. È per me chiaro che restano moltissimi aspetti avvincenti della scienza ancora da capire e progressi tecnici ancora da compiere.

## LE OSSERVAZIONI DANNO LUOGO AD APPLICAZIONI E MIGLIORAMENTI

*Harold E. Varmus*

Memorial Sloan-Kettering Cancer Center, USA



© Cortesia di Harold E. Varmus

A differenza di coloro che hanno abbracciato con successo una carriera scientifica, quando frequentavo le medie e le superiori, i cosiddetti “anni formativi”, in una cittadina appena fuori New York, gli esperimenti di laboratorio o le meraviglie della natura non mi interessavano molto. In quegli anni i miei obiettivi principali, come tutti i miei coetanei, erano andare bene a scuola, indipendentemente dalla materia, praticare qualche sport e divertirmi alle feste. Non ero molto portato per gli sport e forse ero considerato un po’ più intellettuale dei miei compagni, perché mi piacevano molto la letteratura e la politica. Mio padre era medico e adorava la sua professione ed io iniziai il college pensando già che prima o poi avrei intrapreso gli studi di medicina<sup>44</sup>. Tuttavia, le esperienze più emozionanti durante i primi anni di università ruotavano tutte intorno ai corsi di letteratura inglese e al mio lavoro di editore per il giornale universitario; quindi, dopo aver conseguito la laurea breve, decisi di continuare gli studi in campo letterario.

All’inizio di questo nuovo percorso di studi, sentii la mancanza di quegli aspetti tipici dell’approccio scientifico che non avevo apprezzato molto fino a quel momento: il potere di trarre conclusioni dall’osservazione di fenomeni naturali e la possibilità di applicare nuove conoscenze alla vita pratica per risolvere i problemi quotidiani. Dato che avevo completato il corso propedeutico agli studi di medicina, il modo più semplice di acquisire nozioni scientifiche fu proprio quello di iscrivermi a medicina. E così feci, ma durante gli studi (a New York) e durante il successivo corso di formazione, iniziai ad interessarmi alla neonata biologia molecolare che offriva l’opportunità di studiare patologie (il cancro, le malattie infettive, i disordini ematici, ecc.) a livello cellulare, molecolare e genetico. Così, per la prima volta cominciai a lavorare in un laboratorio, presso il National Institute of Health (NIH)<sup>45</sup> a Bethesda, nel Maryland, alla non più tenera età di 28 anni (sarebbe preferibile avere un percorso accademico più breve, ma allo stesso tempo il mio caso è utile a dimostrare che un inizio incerto può comunque condurre a dei risultati soddisfacenti).

<sup>44</sup> Nel sistema americano, la scelta dell’indirizzo di laurea avviene entro la fine del secondo anno di università. (N.d.T.)

<sup>45</sup> Istituto Nazionale di Sanità. (N.d.T.)

Nel mio lavoro sperimentale al NIH, ho imparato che anche sostanze chimiche come il glucosio o l'AMP ciclico possono alterare l'espressione dei geni che controllano il metabolismo cellulare nei batteri. Questa rapida transizione da medico che interagiva con i pazienti, a scienziato che cercava di capire i sistemi biologici a livello molecolare era molto emozionante e mi incoraggiò a credere di poter operare un altro cambiamento (utilizzare metodi simili per studiare la trasformazione di una cellula normale in cellula cancerogena o la crescita di un virus nelle cellule animali).

Presso il laboratorio della facoltà di medicina dell'University of California di San Francisco, ebbi la possibilità di ampliare il mio lavoro ai virus e alle patologie cancerose. Cominciai così una serie di esperimenti (che durarono una ventina d'anni) per indagare il meccanismo di moltiplicazione di una classe di virus responsabili del cancro (i retrovirus) e l'alterazione cellulare provocata da alcuni di essi, tanto da trasformare le cellule infette in cellule tumorali. Durante questi esperimenti, i miei colleghi ed io scoprimmo che un singolo gene virale con proprietà cancerogene derivava da un gene presente nelle cellule animali normali e che il gene progenitore svolgeva delle funzioni essenziali per lo sviluppo normale dell'animale. In seguito, fu dimostrato che questa scoperta valeva anche per molti altri oncogeni (geni con proprietà cancerogene). Oggi è risaputo che molti di questi oncogeni contribuiscono alla formazione del cancro nell'uomo, anche quando (come spesso accade) non sono presenti virus.

Grazie a queste scoperte, le modalità di diagnosi, classificazione e trattamento del cancro stanno cambiando: sono state proposte molte nuove terapie per inibire la produzione di oncogeni e si è sempre più ottimisti circa la possibilità di riuscire a controllare il cancro nel prossimo futuro. Ora che dirigo un grande centro di ricerca sul cancro e al tempo stesso curo i pazienti affetti da questa patologia, questi sviluppi mi arrecano grande speranza e gratificazione. La mia decisione di abbandonare gli studi umanistici è ora pienamente giustificata, sebbene ancora oggi leggere romanzi e guardare le commedie di Shakespeare sia una grande passione.

## UNA VITA GRATIFICANTE

*Rafael Vicuña*

Pontificia Univ. Católica de Chile, Santiago



© Cortesia di Rafael Vicuña

Sono nato a Santiago, in Cile, nella primavera del 1949. La mia è una famiglia cilena tradizionale, in quanto i miei antenati furono importanti personalità politiche, economiche ed ecclesiastiche. Io sono il primo scienziato della famiglia, quindi posso tranquillamente affermare di non aver seguito le orme di nessun parente nell'intraprendere la strada della ricerca. Proprio per questo, mi sono sempre considerato la pecora nera della famiglia. Non sono stato nemmeno ispirato dagli insegnanti di scienze delle superiori in quanto allora la mia "vocazione" era già nata: da quanto ricordo, la *comprensione* della natura mi ha sempre affascinato. Porto ancora con me i libri di scienze della mia infanzia, che mio padre mi regalava per il mio compleanno o per Natale.

Inizialmente, mi iscrissi alla facoltà di Biochimica presso l'Università del Cile, dove frequentai il laboratorio del professor Osvaldo Cori che ebbe grande influenza su di me, sia per le sue qualità umane che per il suo rigore scientifico. Nel 1974, cominciai a

frequentare il corso di dottorato all'Albert Einstein College of Medicine di New York, dove conseguì il master nel 1976 e il dottorato nel 1978. Il coordinatore della mia tesi di dottorato era il dott. Jerard Hurwitz che mi iniziò al ragionamento critico necessario per la maturità di uno scienziato. Nel 1978 ottenni un posto presso la Facoltà di Scienze Biologiche dell'Università Cattolica del Cile dove lavoro tuttora. All'inizio, collaboravo con altri professori che si stavano occupando dello stesso argomento della mia tesi di dottorato, ossia la replicazione del DNA. In quel periodo riuscii ad identificare e caratterizzare due fattori di proteine inibitori del DNA virale del fago fX174 usando il meccanismo di replicazione di altri batteriofagi con DNA a singolo filamento, quali fd o M13. In seguito, iniziai un nuovo progetto di ricerca nel campo dei batteri ipertermofili ed assieme ai colleghi del gruppo, procedemmo alla caratterizzazione degli enzimi coinvolti nel sistema di restrizione-modificazione dei batteri *Thermus* ed alla caratterizzazione dei plasmidi al loro interno. Molti di questi plasmidi furono utilizzati in seguito da altri colleghi come vettori nei sistemi di trasformazione del DNA dei batteri termofili. In quei primi anni, riuscimmo ad isolare e caratterizzare la DNA polimerasi dal *Thermus thermophilus*. Col successivo sviluppo delle tecniche PCR, il nostro articolo divenne molto citato.

Nel 1986 ricevetti la Guggenheim Fellowship<sup>46</sup> che mi permise di unirmi per quattro mesi al gruppo del dott. Kent Kirk al Forest Products Laboratory presso l'Università di Madison, in Wisconsin. Scelsi quel laboratorio perché era uno dei migliori al mondo nel campo della degradazione della lignina ed io volevo infatti cominciare un progetto di ricerca a lungo termine proprio in un campo simile, sebbene relativamente inesplorato. Una volta tornato a Santiago, cominciai a studiare il metabolismo batterico dei composti aromatici della lignina. Il nostro più grande successo in questo campo fu l'isolamento, l'identificazione e la caratterizzazione di ceppi batterici naturali in grado di metabolizzare i composti di lignina; la spiegazione delle vie metaboliche che coinvolgono nuovi prodotti catabolici intermedi; e la scoperta, la clonazione e il sequenziamento dell'enzima benzaldeide liase. All'inizio degli anni '90 decisi di cambiare campo e di dedicarmi allo studio dei funghi, i microorganismi ligninolitici più efficienti in natura. Dato che molti gruppi di ricerca si erano già occupati del *Phanerochaete chrysosporium*, scelsi il basidiomicete *Ceriporiopsis subvermispora*, un microorganismo che, quando cresce sugli alberi, è altamente selettivo per la lignina. Da allora, siamo riusciti a chiarire che il sistema ligninolitico del *C. subvermispora* è composto da una perossidasi manganese-dipendente (MnP) e dall'enzima fenolo-ossidasi contenente rame, chiamato laccasi. Riuscimmo a trovare una correlazione tra la decomposizione della lignina a causa della *C. subvermispora* e la produzione della MnP e della laccasi. Entrambi questi enzimi sono isoformi e possiedono dei pattern di isoelettrofocalizzazione diversi a seconda delle condizioni di crescita del fungo. Sulla base delle sequenze N-terminali dei vari isoenzimi MnP, abbiamo avanzato la proposta che ci possa essere più di un gene che codifichi per questo enzima nel *C. subvermispora*. Questa ipotesi si dimostrò corretta e in seguito procedemmo a sequenziare quattro geni che codificano per MnP e un gene che codifica per laccasi. L'espressione di tali geni è regolata dai metalli. Altri contributi significativi includono la dimostrazione che la MnP del *C. subvermispora* non richiede tassativamente Mn(II), al contrario dell'enzima del *P. chrysosporium*. Ancora, dimostrammo la presenza di geni tipo LiP nel *C. Subvermispora*, sebbene questo fungo non produca lignina perossidasi (LiP). In questo sistema, abbiamo anche descritto un nuovo meccanismo per la produzione del perossido di idrogeno extracellulare necessario come substrato nella MnP. Mentre altri funghi secernono vari tipi di ossidasi a questo scopo, nelle culture di *C. subvermispora* è la MnP stessa che genera perossido tramite l'ossidazione di acidi organici prodotti dal fungo. Il meccanismo usato dalla MnP in questa reazione si basa sulla produzione di radicali di ossigeno e carbonio, e di anione superossido.

La mia vita scientifica è stata molto gratificante. Mi ha permesso di dare spazio senza limite alcuno alla mia passione per la ricerca e di collaborare con eminenti colleghi nonché con giovani studenti creativi. Ho avuto l'opportunità di viaggiare spesso nel Nord America, in Europa e in Asia. A tutt'oggi, ho l'onore di essere Vice Presidente dell'Accademia delle Scienze del Cile e un membro dell'Accademia Pontificia delle Scienze, dell'Accademia delle Scienze dell'America Latina e dell'Accademia delle Scienze del Terzo Mondo (TWAS). Nel tempo libero mi dedico al golf e alla lettura di testi di storia e filosofia scientifica.

<sup>46</sup> Premio offerto ogni anno dalla John Simon Guggenheim Memorial Foundation e che consiste in una borsa di studio per professionisti con una carriera già avviata.

## I CONTRIBUTI DEGLI SCIENZIATI VIVONO PIÙ A LUNGO DI LORO

*Klaus von Klitzing*

Max-Planck-Institut Für Festkörperforschung at Stuttgart, Germany



© Cortesia di Klaus von Klitzing

Nato nel 1943 alla fine della seconda guerra mondiale, non ricordo il terribile periodo della guerra. Appartengo alla generazione che crebbe in un momento storico in cui la qualità della vita non faceva che migliorare. Le barriere politiche fra i paesi diventavano sempre più trasparenti e nacquero organizzazioni internazionali come le Nazioni Unite a fungere da garanti per i diritti umani. Con Internet abbiamo oggi una rete mondiale per la comunicazione e la diffusione della conoscenza. Come scienziato, guardo al futuro con ottimismo, a condizione che riusciamo ad evitare le disparità inaccettabili negli standard di vita e a migliorare universalmente i sistemi di istruzione, in modo tale da non correre il rischio che l'opinione pubblica sia manipolata. Proprio gli scienziati avranno un'importante responsabilità, poiché le leggi fondamentali della scienza sono universali e le conseguenze logiche non lasciano spazio alle interpretazioni ideologiche. Il Centro Internazionale di Fisica Teorica "Abdus Salam" è un esempio

meraviglioso dell'internazionalità della scienza; finché esisterà una rete mondiale di scienziati, sono sicuro che essa stabilizzerà la coesistenza fra gli individui e fra le nazioni in tutto il mondo.

Come ho cominciato con la scienza? Forse quando guadagnai dei soldi all'età di 7 anni, facendo qualche semplice calcolo per mio padre, soprattutto addizioni. All'inizio della scuola, la mia classe era formata da alunni di età diverse cosicché ebbi la possibilità di imparare ciò che veniva insegnato agli studenti più grandi. L'insegnante capì il mio interesse per la matematica e mi ritrovai a spiegare e risolvere problemi a bambini che erano molto più grandi di me.

Il mio sogno era di studiare matematica all'università ma, molto presto, mi resi conto che la fisica era la materia ideale in cui applicare la matematica e risolvere i problemi della vita reale. Non ho mai avuto rimpianti di essere diventato un fisico. Mentre studiavo all'università, furono sviluppati i primi laser (oggi tutti utilizzano un laser a semiconduttore per sentire la musica da un compact disc) e la fisica dei semiconduttori era un campo nuovo e stimolante. Tra un semestre e l'altro, lavoravo al Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) a Braunschweig, l'istituto nazionale tedesco di metrologia: la situazione ideale per studiare un

po' di fisica da una parte e guadagnare un po' di soldi per i miei studi all'università d'altra. Le misure ad alta precisione sono una delle caratteristiche della metrologia; imparai a misurare con accuratezza il punto di fusione dell'oro, la distanza esatta fra gli atomi in un cristallo ed a calibrare i resistori elettrici. A quel tempo, non sapevo che quest'esperienza sarebbe stata molto utile per la scoperta dell'effetto Hall quantistico che portò alla fine al premio Nobel per la fisica del 1985. Grazie al lavoro presso il PTB, sapevo che i resistori elettrici non erano molto stabili e che il valore della resistenza cambiava a causa delle variazioni di temperatura e dei cambiamenti microscopici nel filo. Il mio sogno era produrre un resistore il cui valore della resistenza fosse stabile nello spazio e nel tempo, in modo da stabilire uno standard universale di riferimento. Ebbi la fortuna, nella notte tra il 4 ed il 5 Febbraio 1980 durante un esperimento, di vedere per caso un fenomeno che risultò in un nuovo tipo di resistore elettrico, la cui resistenza dipende esclusivamente da costanti fondamentali come la carica dell'elettrone e la costante di Planck. Il valore di questa resistenza è sempre di  $25812.807 \text{ Ohm}$  ed è oggi nota come la costante di von Klitzing. Questa scoperta fu il risultato della ricerca di base su un dispositivo che può essere trovato in qualsiasi computer, il transistor ad effetto di campo. In quanto scienziati, si ha la possibilità di contribuire all'avanzamento della conoscenza, e questo contributo rimane vivo più a lungo di noi.

## “LA CAMARO ROSSA”<sup>47</sup>

*Steven Weinberg*

University of Texas at Austin, USA



© Archivio Fotografico ICTP

Il 15 ottobre 1764, Edward Gibbon concepì il progetto di scrivere la storia del declino e della caduta dell'impero romano mentre ascoltava dei monaci scalzi cantare i vesperi nelle rovine del Campidoglio, a Roma. Mi piacerebbe poter dire di aver lavorato in ambienti altrettanto incantevoli. Ho concepito l'idea che portò alla mia più grande scoperta mentre, al volante di una Camaro rossa, mi stavo recando in ufficio presso il Dipartimento di Fisica del Massachusetts Institute of Technology (MIT), a Cambridge.

Avevo i nervi a pezzi. L'anno prima avevo chiesto un anno di aspettativa a Berkeley, dove insegnavo, affinché mia moglie potesse studiare Legge ad Harvard. Eravamo reduci dal trauma di un trasloco e toccava a me a quel punto accompagnare mia figlia alla scuola materna, al parco, ecc. Inoltre, ero arrivato ad un punto morto nel mio lavoro di fisico teorico.

Come per altri teorici, il mio lavoro consiste, servendomi solo di carta e penna, nel cercare di spiegare in modo semplice alcuni fenomeni complessi. È poi compito del fisico sperimentale appurare che le nostre teorie effettivamente descrivano il mondo reale. L'opportunità di spiegare la natura giocherellando con idee matematiche è ciò che mi ha attirato verso la fisica teorica. Nel corso dei due anni precedenti avevo consolidato la mia comprensione di quello che i fisici chiamano interazioni forti, ossia le forze che tengono assieme le particelle all'interno dei nuclei. Alcuni dei miei calcoli erano stati persino confermati sperimentalmente, ma ora sembrava che queste idee non conducessero più a risultato alcuno. Le nuove teorie sulle interazioni forti di cui mi occupavo in quel periodo implicavano che una delle particelle della fisica nucleare ad alta energia fosse priva di massa, quando in realtà era nota essere piuttosto pesante. Nel gioco della fisica, elaborare previsioni già sbagliate in partenza non porta molto lontano.

Spesso, quando si è di fronte a contraddizioni di questo genere, è inutile sedersi alla scrivania e fare calcoli perché si entra in un circolo vizioso. Può invece essere d'aiuto sedersi su una panchina in un parco e guardare la propria figlia giocare con la sabbia, lasciando che il problema sedimenti nel subconscio.

<sup>47</sup> Articolo già pubblicato su "George", nell'ottobre 1997. Ristampato su "Facing Up: Science and its Cultural Adversaries", di Steven Weinberg (Harvard University Press, Cambridge, MA, 2001).

Per due settimane non ci pensai più e, improvvisamente, sulla strada per il MIT (il 2 ottobre 1967, se non erro), capii che non c'era nulla di sbagliato nella teoria alla quale stavo lavorando. Avevo la risposta giusta ma avevo lavorato sul problema sbagliato. La matematica con cui avevo lavorato non aveva nulla a che fare con le interazioni forti, ma forniva una bella descrizione di un'altra forza, nota come interazione debole. Questa forza è responsabile, tra le altre cose, del primo passo della catena di reazioni nucleari che produce il calore del sole. C'erano delle incongruenze in tutte le teorie precedentemente formulate su questa forza, ma improvvisamente capii come risolverle. E capii inoltre che la particella priva di massa che mi aveva dato tanti problemi non aveva niente a che fare con le particelle pesanti soggette all'interazione forte; era il fotone, particella di cui è composta la luce ed effettivamente privo di massa, il responsabile di forze elettriche e magnetiche. Quindi, non solo mi stavo muovendo verso una migliore comprensione delle interazioni deboli, ma anche verso l'unificazione delle teorie delle forze deboli ed elettromagnetiche in una nuova teoria da allora conosciuta come "teoria elettrodebole". Questo è esattamente il tipo di cose che amano i fisici: constatare come cose all'apparenza diverse siano in realtà aspetti del medesimo fenomeno. L'unificazione delle interazioni deboli con le forze elettromagnetiche forse non avrà applicazioni in campo medico e tecnologico ma, se confermata, potrebbe costituire un ulteriore passo avanti in quel processo che dura da secoli e che cerca di spiegare la natura attraverso leggi semplici e razionali.

Riuscii in un modo o nell'altro ad arrivare sano e salvo in ufficio e ad elaborare i dettagli della teoria. Tutto quello che prima mi sembrava complesso ora si manifestava nella sua semplice evidenza. Due settimane dopo spedii un breve articolo sulla teoria elettrodebole al *Physical Review Letters*, un periodico molto conosciuto tra i fisici.

La teoria fu riconosciuta coerente nel 1971 e fu in parte provata sperimentalmente nel 1973. Entro il 1978 era chiaro che le misurazioni sperimentali di alcuni effetti coincidevano perfettamente con le previsioni teoriche. E nel 1979 ricevetti il Premio Nobel per la fisica assieme a Sheldon Glashow e Abdus Salam, che avevano condotto lavori di ricerca indipendenti sulla medesima teoria. Da allora il mio articolo del 17 ottobre 1967 è diventato il più citato nella storia della fisica delle particelle elementari.

Ho tenuto la mia Camaro rossa finché uno dei soliti rigidi inverni del Massachusetts la distrusse, ma non mi aveva mai più portato così lontano.

## MEMORIE DI UNA FISICA LATINOAMERICANA

*Mariana Weissmann*

Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina



© Cortesia di Mariana Weissmann

Innanzitutto, vorrei dire che ci vuole molta fortuna a riuscire a guadagnarsi da vivere facendo il tipo di lavoro che si ama. La mia fortuna cominciò quando nacqui in una famiglia istruita della classe media in Argentina, un paese dove le donne non sono discriminate rispetto alla possibilità di ricevere un'istruzione superiore. Continuai quando andai al college, nel periodo d'oro dell'Università di Buenos Aires. Infatti, negli anni '60 c'era molto entusiasmo riguardo alla speranza che la cultura, in particolare quella scientifica, sarebbe stata di aiuto alle

popolazioni dei paesi meno sviluppati. Questo sentimento universale probabilmente ispirò anche il professor Abdus Salam nel fondare l'ICTP, luogo d'incontro di fisici del mondo sviluppato e del mondo in via di sviluppo.

Ho scelto di studiare scienze principalmente perché mi piace il pensiero astratto, ero brava a scuola ed ero curiosa. Non avevo idea di quanto sarebbe durato questo interesse e non pensavo alla scienza in termini di carriera. Solo dopo molto tempo mi resi conto che la fisica era diventata una parte molto importante della mia vita. Al momento, vicina alla pensione, trovo che i nuovi romanzi, i nuovi film o le nuove opere teatrali mi ricordano cose già viste, un *déjà vu*, mentre le riviste di fisica ogni giorno mi sorprendono con delle nuove idee, qualcosa a cui non avevo mai pensato prima.

La vita degli scienziati nell'America Latina è sempre stata alquanto movimentata, poiché la maggior parte di noi è stata costretta a spostarsi da un paese all'altro. Alcuni decisero di rimanere negli Stati Uniti o in Europa occidentale con un lavoro stabile, ma in molti siamo rimasti nella nostra terra, vivendo in vari luoghi, a volte a causa delle persecuzioni politiche, ma la maggior parte delle volte per la miopia dell'amministrazione. Pochissimi amministratori negli ultimi 30 anni hanno dato valore alla ricerca e, di conseguenza, capito che mettere in piedi un gruppo di ricerca richiede molto tempo, mentre a distruggerlo si fa in un attimo. Il professor Salam parlò di questo argomento molte volte e in luoghi diversi, ma non sempre fu compreso.

La mia personale peregrinazione cominciò con una borsa di studio (dell'Università di Buenos Aires) per gli studi post laurea presso il California Institute of Technology. Al mio

ritorno in Argentina, presentai la tesi di dottorato a Buenos Aires e mi fu offerto un posto di Professore Assistente nel neonato Dipartimento di Meteorologia. Insegnavo fisica atmosferica e collaboravo con un gruppo sperimentale interessato all'inseminazione delle nubi, per prevenire la caduta di grandine in una regione vinicola. Il mio lavoro di ricerca era teorico: studiavo le proprietà dell'acqua, del ghiaccio e delle soluzioni di ioduro d'argento. Per fare ciò usavo un computer Mercury, il primo installato in America Latina. Era un mostro di fabbricazione britannica molto avanzato, pieno di valvole, che avevamo chiamato Clementine e che aveva bisogno di una mattina intera per scaldarsi. Di pomeriggio e di sera era condiviso da dottorandi e da professori, che si sentivano molto fortunati ad avere accesso ad una struttura così moderna.

Questi tempi felici finirono nel 1966, con un colpo di stato militare che coinvolse l'Università e portò alle dimissioni di circa mille insegnanti, moltissimi dei quali scienziati. L'Argentina perse il primato in America Latina nel campo delle scienze informatiche e non riuscì più a recuperarlo. Io fui invitata negli Stati Uniti per proseguire la mia ricerca e qualche tempo dopo ritornai in America Latina come ricercatrice presso l'Università del Cile. Per i successivi quattro anni vissi a Santiago, che lasciai nel 1972, un anno prima del colpo di stato militare di Pinochet. Con i colleghi cileni instaurai un rapporto molto stretto e siamo tuttora buoni amici. Durante il periodo cileno, beneficiammo della visita del professor Vladimir Tolmachev di Mosca, il quale ci insegnò come utilizzare i diagrammi di Feynman per la fisica atomica e dello stato solido. I nostri studenti in quegli anni sono tra i migliori fisici cileni di oggi.

Ritornata a Buenos Aires, ricevetti un posto di ricercatrice al Centro Nazionale di Ricerca e da allora ho sempre lavorato presso i laboratori della Commissione per l'Energia Atomica a Buenos Aires, fatta eccezione per gli anni 1979-81 che trascorsi all'Università Simon Bolivar di Caracas, in Venezuela. La mia ricerca degli ultimi trent'anni ha riguardato gli effetti del disordine, o non-periodicità, nelle proprietà dei materiali. In particolare, mi sono concentrata sui seguenti argomenti: solidi incommensurati o amorfi, superfici, aggregati molecolari e molecole di grandi dimensioni. Semiconduttori, superconduttori ad alta temperatura, multistrati magnetici, fullereni, ecc., sono solamente alcuni dei materiali studiati. Inizialmente ho collaborato con la relatrice della mia tesi, la professoressa Norah Cohan e poi, dal 1985 ad oggi, ho lavorato con diversi dottorandi assegnatimi dall'Università di Buenos Aires per svolgere con me il loro lavoro di ricerca. Ognuno di essi ha studiato un sistema differente, o sviluppando un proprio personale linguaggio informatico, o più recentemente utilizzando alcuni linguaggi standard già disponibili. Sono davvero orgogliosa perché tutti i miei ex studenti, a cui sono molto affezionata, sono attivi come fisici, in Argentina o in Europa.

L'ICTP, di cui sono stata membro associato e in seguito membro associato anziano, ha svolto un ruolo importante nella mia vita scientifica. È stato il luogo in cui ho discusso delle mie difficoltà con colleghi di maggior esperienza, dove ho capito quali problemi avrebbero avuto importanza nel futuro e cosa avrei dovuto fare per guidare i miei studenti dottorandi nel loro lavoro. Desidero ricordare l'abilità del professor Norman March nell'organizzare un gruppo di ricerca sullo stato solido e nell'ascoltare pazientemente ognuno di noi, quando presentavamo i nostri problemi di fisica. L'ICTP è stato anche il luogo dove ho trovato nuovi amici e dove ho imparato molto dalle somiglianze e dalle differenze dei problemi della nostra professione a seconda del paese di provenienza. La qualità che ho sempre ammirato di più

nelle originali idee del professor Salam è la generosità. Il Centro non ha mai imposto nessuna attività ai suoi membri, ognuno ha scelto ciò che era in grado di affrontare. Ricordo che inizialmente alcuni erano solo in grado di fotocopiare dei libri per le loro biblioteche, ma in seguito svilupparono interessanti ricerche e mandarono a loro volta i propri studenti all'ICTP.

È un vero piacere celebrare il 40° anniversario di questa generosa istituzione, che è più necessaria ora di quando fu fondata. La globalizzazione ha solo aumentato il distacco tra i Paesi sviluppati e meno sviluppati e io spero sinceramente che possa conservare per molti anni a venire lo spirito che la animava al momento della sua fondazione.

---

## LA SCIENZA MI HA REGALATO LA LIBERTÀ

---

*Frank Wilczek*

Massachusetts Institute of Technology, USA



© Cortesia di Amity Wilczek

Gli eventi più profondamente formativi della mia carriera scientifica sono avvenuti molto prima che mi inserissi nella comunità di ricerca; in realtà alcuni di essi sono avvenuti addirittura prima della mia nascita.

I miei nonni sono emigrati negli USA dall'Europa giovanissimi, in seguito alla prima guerra mondiale; i miei nonni paterni erano polacchi, di vicino Varsavia e quelli materni erano italiani, di vicino Napoli. Arrivarono tutti senza niente, senza nemmeno conoscere l'inglese. Erano rispettivamente un falegname ed un muratore. I miei genitori sono nati a Long

Island, nel 1926 (e sono sempre vissuti lì). Io sono nato nel 1951 e sono cresciuto in un posto chiamato Glen Oaks, che è l'angolo a nord-est di Queens, appena entro i confini della città di New York.

Ho sempre amato tutti i tipi di rompicapo, giochi ed enigmi. Alcuni dei miei primi ricordi di bambino riguardano i quesiti su cui lavoravo ancor prima di andare a scuola. Mentre imparavo l'uso dei soldi, mi divertivo a provare metodi di cambio per vari tipi di monete, anche di piccolo taglio come pennies, nickels, e dimes<sup>48</sup>. O ancora, mi dilettao ad ottenere numeri molto grandi in pochi passaggi. Ho scoperto per conto mio semplici forme di esponenziazione ripetute e ricorrenze. Creare grandi numeri mi faceva sentire importante.

Con questi passatempi, avrei finito per intraprendere un qualsiasi tipo di lavoro intellettuale e fu grazie ad alcune particolari circostanze che scelsi la strada della scienza e poi della fisica teorica.

I miei genitori erano bambini durante il periodo della Grande Depressione e per le loro famiglie la vita era molto dura. Questa esperienza ha influenzato molto il loro carattere ed in particolar modo le loro aspirazioni nei miei confronti: puntarono molto sulla mia istruzione e sull'apprendimento di capacità tecniche, sinonimo di sicurezza lavorativa. Quando andavo bene a scuola erano felici e mi incoraggiarono a prendere il dottorato o a diventare ingegnere. Durante la mia adolescenza, mio padre, che lavorava nel campo dell'elettronica, faceva la scuola serale. Il nostro appartamento era pieno di vecchie radio, dei primi modelli di

---

<sup>48</sup> penny = 1 centesimo di dollaro, nickel = 5 centesimi, dime = 10 centesimi (N.d.T)

televisione e dei suoi libri. Era il periodo della guerra fredda. L'esplorazione spaziale era una nuova ed eccitante prospettiva, mentre il nucleare incuteva paura; entrambi gli argomenti erano sempre presenti sui giornali, in televisione e al cinema. A scuola facevamo spesso esercitazioni contro gli attacchi aerei. Tutto questo mi impressionò molto. Mi ero fatto l'idea che esistesse un sapere segreto che, una volta approfondito, avrebbe permesso alla Mente di controllare "la Materia" in modo semi-magico.

Il mio modo di pensare è stato anche fortemente influenzato dalla formazione religiosa. Ricevetti un'educazione cattolica e mi piaceva molto l'idea che la creazione fosse il frutto di un grande progetto o di un grande evento, ma dopo aver letto Bertrand Russell e a seguito della mia crescente consapevolezza scientifica, persi la fede nella religione convenzionale. Una gran parte della mia ricerca successiva ha cercato di ritrovare quei profondi significati che sono andati perduti.

Frequentai le scuole pubbliche nel Queens e ho sempre avuto eccellenti insegnanti. Erano scuole grandi, che offrivano anche corsi avanzati o specialistici. Alle superiori, eravamo circa in venti a frequentare questi tipi di corsi e tra noi c'era sia sostegno che competizione. Almeno metà di noi ha avuto successo in campo scientifico o medico.

Mi iscrissi all'università di Chicago con grandi ma imprecise ambizioni. Ero molto interessato alla scienza del cervello, ma presto decisi che i quesiti più importanti non erano pronti per il linguaggio matematico (e mi mancava la pazienza per il lavoro di laboratorio). Diverse materie mi appassionavano, ma fu la matematica a rapirmi perché mi dava più libertà. Durante il mio ultimo trimestre a Chicago, frequentai il corso di Peter Freund sull'uso della simmetria e della teoria dei gruppi in fisica. Il prof. Freund era estremamente entusiasta e trascinante e mi sentii istintivamente coinvolto nella materia. Una volta laureato, continuai gli studi presso il dipartimento di matematica della Princeton University, ma con un occhio sempre vigile su ciò che stava accadendo nell'ambito della fisica. Mi resi conto che profonde idee riguardanti la simmetria matematica stavano sconvolgendo le frontiere della fisica, in particolare la teoria di gauge delle interazioni elettrodeboli e la simmetria di scala nella teoria di Wilson sulle transizioni di fase. Cominciai a parlarne con un giovane professore di nome David Gross e così la mia carriera di fisico vero e proprio ebbe inizio.

L'inizio della mia carriera fu segnato da una grande scoperta: l'equazione di base della forza forte, ossia la forza che lega i nuclei atomici. Queste equazioni, che definiscono una teoria chiamata Cromo Dinamica Quantistica o QCD, prevedevano l'esistenza di nuove specie di particelle, gluoni, che furono scoperte più tardi. Le equazioni della QCD sono basate sui principi della simmetria di gauge e si risolvono usando la simmetria di scala. È stato molto gratificante scoprire che, quelle stesse idee che mi avevano affascinato da studente, si potevano usare per ottenere una potente e accurata teoria di un'importante parte della fisica fondamentale. Continuo ad applicare queste idee in nuovi modi, e sono certo che continueranno a svolgere un ruolo fondamentale anche in futuro.

Recentemente ho descritto la parte più rilevante del lavoro svolto finora e delle prospettive di applicazione future in un breve articolo che si può trovare nel sito <http://arxiv.org/hep-ph/0401034>. Per ulteriori informazioni, si può consultare la mia pagina web

[http://web.mit.edu/physics/facultyandstaff/faculty/frank\\_wilczek.html](http://web.mit.edu/physics/facultyandstaff/faculty/frank_wilczek.html).

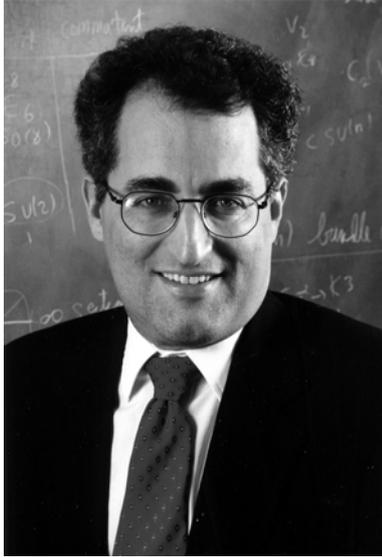
---

**GUARDANDO INDIETRO**


---

*Edward Witten*

Institute for Advanced Study at Princeton, USA



© Cortesia di Randall Hagadorn

Se guardo ai miei primi ricordi di infanzia, vedo che già da allora ero piuttosto affascinato dalla matematica. Poco dopo, iniziai ad interessarmi anche all'astronomia. Avevo più o meno 7 anni quando il primo satellite, lo Sputnik sovietico, fu lanciato nello spazio. A quell'epoca, lo spazio suscitava grande emozione in tutti noi, e certo anche in me, ed io pensavo che da grande sarei diventato astronomo. Tuttavia, ricordo vividamente il timore che, nel momento in cui sarei diventato adulto, gli astronomi avrebbero dovuto lavorare nello spazio e non ero convinto che le condizioni di sicurezza sarebbero state ottimali lassù. Guardando indietro, mi rendo conto che queste preoccupazioni erano esagerate; infatti, quarant'anni dopo i satelliti astronomici svolgono un ruolo importante nella ricerca scientifica, ma la stragrande maggioranza degli astronomi continua a svolgere la propria attività al sicuro sulla Terra.

I miei genitori mi regalarono un telescopio riflettore da 3 pollici quando avevo più o meno nove anni e una volta, ma soltanto una, riuscii a vedere gli anelli di Saturno. Guardando indietro, mi sembra assurdo che, a quel tempo, vedere Saturno attraverso un telescopio fosse ritenuta un'impresa difficile; adesso mi sembra ovvio che, perfino attraverso l'inquinamento luminoso dei cieli di tante aree urbane e suburbane, Saturno sia un pianeta che, quando è alto nel cielo (come accade in diversi mesi dell'anno), si può vedere con molta facilità.

All'età di undici anni cominciai ad imparare analisi matematica, la cosa più entusiasmante di cui avessi mai sentito parlare e per diversi anni pensai che sarei diventato un matematico. A quel tempo, si riteneva che i bambini non dovessero essere incoraggiati a fare troppi progressi in poco tempo negli studi, quindi dovettero passare alcuni anni prima che potessi imparare una matematica più avanzata. Il risultato di tutto ciò fu che per un lungo periodo di tempo pensai che la matematica consistesse semplicemente in versioni più complicate di ciò che avevo già imparato. Questo è probabilmente uno dei motivi per cui il mio interesse per la matematica scemò per qualche tempo.

Nel corso degli anni, i miei interessi cambiarono notevolmente: da adolescente, presi in considerazione più discipline (compresa la storia, in cui conseguii la laurea breve, la linguistica e l'economia), prima di decidere, all'età di ventuno anni, di concentrarmi sulla

fisica. Decisi infine che la fisica e la matematica erano le due discipline per cui ero più portato e che sarebbero sempre state un'ottima fonte di stimoli.

Fu un piccolo episodio casuale che mi fece scegliere la fisica invece della matematica. Andai in biblioteca a prendere in prestito alcuni libri di fisica e matematica. I libri di fisica mi piacquero di più. Con il senno di poi, mi rendo conto che in quell'occasione scelsi dei buoni libri di fisica, mentre quelli di matematica lo erano di meno.

Mi sono chiesto spesso cosa sarebbe successo se fossi cresciuto in un sistema diverso. Certamente ho avuto la fortuna di godere di ottime opportunità per studiare fisica e matematica e, malgrado un inizio un po' stentato, finii per coglierle. Non tutti a questo mondo sono altrettanto fortunati. La mia fortuna è stata anche nel fatto che il sistema di istruzione degli USA è abbastanza flessibile e mi permise, all'età di ventuno anni, di cambiare indirizzo e di diventare uno scienziato. In molti Paesi che pur offrono ottime opportunità di studio nel settore scientifico ma il cui sistema di istruzione è più rigido, sarebbe molto difficile decidere di intraprendere studi di fisica a ventun anni, senza aver prima seguito un percorso di studi ben definito. D'altro canto, se fossi nato in uno di quei Paesi, forse mi sarei indirizzato fin dall'inizio agli studi di matematica e fisica, senza percorrere il cammino tortuoso come invece feci.

Iniziai studi post laurea a Princeton nell'autunno del 1973 in matematica applicata, un corso abbastanza flessibile da permettermi di concentrarmi, in seguito, su qualunque area della matematica o delle scienze in generale. Decisi di studiare fisica delle particelle e dopo un anno mi trasferii al dipartimento di fisica. Questo era il periodo in cui stava emergendo il Modello Standard (lo stesso che usiamo oggi) delle interazioni tra le particelle conosciute. I miei studi di fisica e matematica erano abbastanza avanzati da permettermi di capire la scoperta, nell'autunno del 1974, della risonanza  $J/\psi$ , una delle pietre miliari del Modello Standard. Se non fosse nato il Modello Standard, penso che sarei diventato un fenomenologo delle particelle e mi sarei dedicato all'interpretazione degli indizi degli esperimenti. Infatti, in un certo senso è così che ho iniziato; la mia tesi di dottorato affrontava questioni quali la diffusione fortemente inelastica (che si misura, in pratica, nella reazione  $e^+e^- \rightarrow e^+e^- + \text{adroni}$ ).

Inoltre, quando ero studente, mi interessai anche ad un altro problema che nacque a seguito dell'emergenza del Modello Standard e che consisteva nel capire la QCD<sup>49</sup> e spiegare alcune delle sue sorprendenti proprietà, come il confinamento dei quark. Purtroppo, malgrado alcune intuizioni affascinanti al riguardo (e personalmente mi sono divertito molto a contribuire, in qualche modo, alla questione), il problema rimane troppo difficile. Ma lavorando alla sua soluzione, sorsero altre domande sul comportamento della teoria di gauge in generale, alle quali cominciai ad interessarmi. La teoria di gauge rivelò avere legami molto stretti con la geometria differenziale (inizialmente sottovalutati da me o da altri fisici). Col tempo iniziai ad interessarmi di tali questioni, alcune delle quali sono applicabili alla QCD ed ad altre possibili teorie fisiche, ed alcune hanno una sorprendente profondità matematica per loro conto. Uno dei tanti momenti di svolta avvenne quando ero un post-doc ad Harvard, e Sidney Coleman mi illustrò il lavoro di Albert Schwarz, che usava il Teorema dell'indice di Atiyah-Singer (del

---

<sup>49</sup> Cromodinamica quantistica (*N.d.T*)

quale nessuno di noi aveva ancora sentito parlare) per spiegare le proprietà dell'operatore di Dirac, importanti per il lavoro di Gerard 't Hooft sul problema di  $U(1)$  della QCD.

La prima volta che sentii parlare della teoria delle stringhe fu proprio mentre studiavo la QCD. David Gross, il mio relatore, mi raccomandò, all'inizio del 1975, di studiare l'articolo di 't Hooft sull'espansione del diagramma planare delle interazioni forti. In una moderna formulazione, 't Hooft suggeriva che la QCD con  $N$  colori era equivalente ad una teoria delle stringhe con  $1/N$  come costante di accoppiamento delle stringhe (le esperienze successive indicano che quest'idea va nella giusta direzione, anche se non è stata del tutto sviluppata). Ciò avviò il mio interesse nell'espansione  $1/N$  della teoria di gauge. Tuttavia, queste vicende non cambiarono il mio disinteresse nei confronti della teoria delle stringhe e infatti a quel tempo iniziai a lavorare sull'espansione  $1/N$  senza conoscere veramente la teoria delle stringhe. Più tardi, quando John Schwarz e Michael Green diedero nuova vita alla teoria delle stringhe ottenendo diversi risultati spettacolari, capii che la sua applicazione all'interazione tra le particelle era la cosa più ambiziosa a cui potessi lavorare, ed un terreno di sfida adatto ai miei sforzi.

Più o meno vent'anni dopo, un anziano fisico che stimo molto mi disse che, secondo la sua opinione, la chiave per rimanere attivi anche a tarda età consisteva nel non vergognarsi a lavorare su cose inventate da altri e mi fece alcuni esempi di fisici che avevano osservato o ignorato questa regola. Ora che ho cinquant'anni, tocca a me seguire il suo amichevole consiglio.

## LA MIA ESPERIENZA CON LA MATEMATICA

*Shing Tung Yau*

Harvard University, USA



© Cortesia di Shing Tung Yau

Non ero molto bravo in matematica quando frequentavo le scuole elementari, dove ogni giorno dovevamo fare degli esercizi di routine, non interessanti. Le cose cambiarono quando compii 13 anni, quando cioè fui introdotto per la prima volta alla geometria piana: ero davvero entusiasta all'idea di usare semplici assiomi da cui derivare complicati ed affascinanti teoremi. Così, iniziai ad esplorare la materia da solo: tentai di formulare interessanti congetture e di dimostrarle sfruttando questi semplici assiomi. Era davvero divertente.

Ero solito leggere molto in libreria (la biblioteca a quel tempo non era molto fornita) e in poco tempo riuscii ad imparare concetti sconosciuti ai miei compagni di classe e al mio insegnante. Ero orgoglioso della mia "arma segreta": una conoscenza più approfondita di quella dei miei amici.

Ricordo ancora il mio tentativo di portare a termine una costruzione geometrica usando solo righello e compasso. Provai per più di sei mesi, ma non ci riuscii.

Ero alquanto deluso poiché pensavo che stavo facendo progressi in questa materia. Finalmente trovai un teorema in un libro di riferimento scritto da un matematico giapponese che sosteneva che una costruzione di quel tipo non era possibile, ma poiché non si trattava del classico enunciato relativo all'impossibilità di trisecare un angolo, il mio insegnante non lo conosceva. Allo stesso tempo, rimasi colpito da come l'algebra riuscisse a spiegare difficili aspetti della geometria piana classica.

Questo episodio mi insegnò anche l'utilità del leggere libri scientifici che non si usavano a scuola; benché la mia fosse comunque una delle migliori scuole in campo scientifico, il mio interesse ad andare oltre il programma svolto in classe fu importante per il futuro. Nonostante fosse molto difficile trovare libri in biblioteca, trassi un grande vantaggio dalla loro lettura. Ma non era facile leggerli senza un aiuto e, anche dopo averne riletti alcuni per più di tre volte, non riuscivo ancora a capirli bene. Mi furono comunque molto utili.

Pian piano iniziai ad assimilare ciò che stavo studiando. Quando dovevo usare teoremi che all'inizio non ero riuscito a comprendere, improvvisamente li ricordavo e li interpretavo rapidamente in modo corretto. Durante tutti gli anni di lavoro nella ricerca, questo tipo di esperienza si è ripetuto più volte.

La mia esperienza personale mi ha insegnato che è molto importante dedicarsi ad argomenti che suscitano il nostro interesse, anche se il loro studio non ci dà risultati immediati. Iniziai ad interessarmi ad altri settori della matematica che non sembravano essere formulati in modo assiomatico come la geometria piana. Rimasi piuttosto sconvolto poiché credevo che la matematica dovesse essere assolutamente rigorosa. Quando andai all'università, iniziai ad apprendere il concetto di sezione di Dedekind ed altri simili costrutti e apprezzai la bellezza strutturale della matematica.

Sebbene non fossi appassionato dello studio della logica matematica, rimasi colpito dalla bellezza della sua semplicità e del suo rigore ed ero sicuro che avrei dedicato la mia vita alla ricerca in matematica. L'idea di cercare la bellezza di una formulazione è uno stimolo potente per molti scienziati. Credo che ogni valido studente dovrebbe riconoscere il fascino della scienza.

Quando vivevo ad Hong Kong, non c'era possibilità di entrare in contatto con grandi matematici. Questa situazione cambiò quando arrivai a Berkeley, nel 1969. Fu una svolta radicale e anche i miei gusti in matematica cambiarono completamente. I nostri gusti scientifici dipendono in gran parte dagli scienziati e dagli studiosi con cui veniamo in contatto. È come un pesce nell'acqua: avrà una visione completamente diversa dello scopo da dare alla sua vita, a seconda che viva in un piccolo stagno o in un oceano. Un passo molto importante per chi vuole diventare uno scienziato di primo piano è certamente venire in contatto con grandi scienziati. A mio modo di vedere, è raro che un matematico possa affermarsi senza un tale contatto. Ecco perché mi piace assistere a conferenze dove intervengono i migliori scienziati.

Queste sono alcune delle mie esperienze personali. Non penso di essere più intelligente degli altri studenti; ho avuto semplicemente la fortuna di intraprendere un percorso che mi ha permesso di raggiungere dei risultati.

## IL MIO INCONTRO CON I LIBRI DI MATEMATICA E SCIENZE

*James A. Yorke*

University of Maryland, USA



© Cortesia di James A. Yorke

È sempre un mistero sapere quali idee cattureranno la nostra attenzione e rimarranno con noi per tutta la vita. Capita spesso che eventi banali conducano a grandi cambiamenti, anche nella vita intellettuale. Vorrei cominciare descrivendo appunto uno di questi.

Quando ero ragazzo, la mia famiglia ed io eravamo soliti visitare New York almeno una volta l'anno. Ai miei occhi, il colore dominante era il grigio della fuliggine di cui erano ricoperti i palazzi. Un giorno, quando avevo 9 anni, visitai con la mia famiglia il Museo di Storia Naturale di New York. Si tratta di una struttura immensa che ospita dinosauri di dimensioni reali e stupende gemme e che illustra la cultura umana del passato. Sicuramente questa collezione era molto interessante, ma fu il planetario a rapirmi completamente con la presentazione dei pianeti del sistema solare. In un lato dell'esposizione, si stagliava immobile un enorme asteroide la cui superficie ricca di cavità si era bruciata in seguito al contatto con l'aria. In un'altra parte della mostra, era possibile verificare la diversità del proprio peso a seconda dei pianeti in cui ci

si trovava: le bilance mostravano che una persona del peso di 50 Kg sulla Terra, peserebbe 110 Kg su Giove, 19 Kg su Marte o 8 Kg sulla luna. Un modello del sistema solare mostrava che i pianeti più esterni ruotano intorno al sole molto più lentamente rispetto agli altri e che i satelliti girano rapidamente attorno ai propri pianeti.

Quando entrai nella libreria del planetario rimasi molto colpito. Uscii con libri di astronomia che divennero dei veri e propri compagni e, quando ebbi assimilato il loro contenuto, cominciai a trascorrere tutti i pomeriggi dopo la scuola in biblioteca, a studiare il sistema solare ed i pianeti. Imparai quanto è lungo un anno su Marte, che la temperatura lì è piuttosto bassa, specialmente di notte, che l'aria è quasi inesistente, che i giorni sono 37 minuti più lunghi che sulla Terra, che ha due piccole lune e che il suo asse è inclinato di 24 gradi, quasi come quello della Terra. Giove ruota così velocemente (un giorno è composto da 10 ore) che il suo diametro equatoriale è più grande del 10% rispetto a quello polare. La sua atmosfera è composta per la maggior parte da idrogeno ed elio, ecc. ecc. Imparavo queste nozioni (che in gran parte ricordo ancora) come i bambini di solito imparano le statistiche delle loro squadre preferite. Un ragazzino di 9 anni non può spingersi oltre. Infatti, non

imparai la legge di Keplero secondo cui i periodi orbitali elevati al quadrato sono proporzionali ai semiassi maggiori dell'orbita, elevati al cubo.

In generale, capivo come fossero state ottenute queste informazioni e che le grandi fotografie dei miei libri erano il frutto di lunghe osservazioni attraverso i telescopi, come il riflettore di 200 pollici sul Monte Palomar. Eppure, non mi interessava assolutamente guardare le stelle ed i pianeti attraverso piccoli telescopi. Molti anni dopo, in un laboratorio di fisica della scuola superiore, mi divertivo a svolgere piccoli esperimenti che però mi sembrava rivelassero solo i limiti delle attrezzature di cui disponevamo. Al contrario, molti studenti erano molto soddisfatti. Forse queste esperienze furono la prova che non sono nato per essere uno scienziato sperimentale!

A causa della mancanza di ulteriori informazioni disponibili sul sistema solare nel 1951, i miei interessi cambiarono. A dieci anni, scoprii la fantascienza che mi permetteva di viaggiare attraverso l'universo e nel continuo spazio-temporale. Capitan Bullard e il suo equipaggio combattevano contro terribili pirati dello spazio e in altri libri si parlava di esplosioni di supernove e di pianeti colonizzati. Molte di questi racconti si basavano su fatti scientifici, ma spesso e volentieri violavano alcune leggi della natura in quanto, ad esempio, concepivano velocità superiori a quella della luce. Questi tipi di letture mi divertivano molto ed erano uno spunto per riflettere sull'universo e su altre possibili civiltà.

Proprio come mi imbattei casualmente nei libri di astronomia, altrettanto casualmente, negli anni seguenti, mi imbattei in altri libri non tecnici che ebbero un grande impatto sulla mia comprensione della scienza e della matematica. Se guardo indietro, mi sembra che la lettura dei libri abbia forse avuto una maggior influenza sul mio pensiero rispetto alle lezioni in classe, sia a livello di istruzione superiore, sia all'università, sia durante il dottorato di ricerca. Nella lettura, seguivo il mio ritmo mentre in classe, se non riuscivo a seguire, la lezione procedeva anche senza di me. Prendere appunti quando il professore scriveva alla lavagna spesso mi impediva di capire ciò che egli stava dicendo. Ancora oggi preferisco un libro ben scritto ad una lezione in classe.

La mia fonte di ispirazione non furono quindi gli insegnanti o persone che conobbi personalmente, ma gli autori di quei bellissimi libri o i personaggi in essi descritti. Ebbero un grande impatto su di me il libro *Grandi matematici* di E.T. Bell, una raccolta della vita e delle idee di molti uomini e donne scienziati, e diversi libri sulla relatività che illustrano il pensiero di Albert Einstein, il mio scienziato preferito. Rimasi molto impressionato dal fatto che, con grande coraggio, Einstein prima mise in discussione la fisica newtoniana, dichiarando che la natura ondulatoria della luce era l'assioma fondamentale su cui si basava il suo pensiero rivoluzionario; poi, nello stesso anno (1905), scrisse, nella sua opera sull'effetto fotoelettrico che gli valse il Premio Nobel, che la luce doveva essere considerata un insieme di particelle discrete. Questo concetto divenne la base della fisica quantistica. Cercai di imitare il suo esempio e di operare in diversi campi allo stesso tempo, naturalmente senza poter sperare di raggiungere i suoi livelli!!!

Alle superiori, il mio scienziato preferito fu probabilmente Norbert Wiener. Lessi tutti i suoi libri più famosi, inclusa la sua autobiografia in due volumi e le descrizioni non tecniche della cibernetica, del controllo e della termodinamica. Rimasi particolarmente colpito dalla descrizione del demone immaginario di Maxwell che poteva rovesciare l'entropia. Alla fine

del 1800, Maxwell descrisse un demone in piedi davanti ad una piccola porta tra due compartimenti pieni d'aria che guardava avvicinarsi le molecole d'aria. Quando si avvicinava una molecola veloce da sinistra, il demone apriva la porta e la lasciava passare nel compartimento di destra e quando si avvicinava una molecola lenta da destra, egli apriva il compartimento di sinistra. In poco tempo, il compartimento di destra divenne più caldo di quello di sinistra. Se un tale procedimento potesse essere realizzato, si genererebbe energia utilizzabile senza consumarne molta. Infatti, il demone consuma tanta energia per osservare gli atomi quanta ne assorbe per separarli. Cercare di capire perché il demone non potesse creare energia utilizzabile era un grande problema prima dell'avvento della meccanica quantistica.

Iniziai a leggere dei testi tecnici l'estate prima di iniziare l'università, quando un professore mi disse che avrei potuto frequentare un corso avanzato se avessi letto due libri di matematica, tra cui *Finite Dimensional Vector Spaces* di Paul Halmos, che mi piacque molto. Lo lessi durante l'estate, durante i lunghi tragitti in autobus da casa alla lavanderia di un ospedale per la cura della tubercolosi, dove lavoravo. Scoprii che la lettura dei testi tecnici è una capacità che si acquisisce con il tempo. Mi è sempre sembrato strano che si ponesse l'accento sull'importanza delle lezioni in classe ai fini dell'apprendimento scientifico, quando invece dopo la laurea e il dottorato, per chi continua un percorso di crescita intellettuale, esso avviene soprattutto attraverso la lettura. I libri saranno sempre con noi.

## È POSSIBILE

*Ahmed H. Zewail*

California Institute of Technology, USA



© Cortesia di Ahmed H. Zewail

Sono nato a Damanhur, la città di Horus, sulle sponde del Nilo, a 60 km da Alessandria. È curioso che la mia infanzia sia accomunata da due posti importanti, Rosetta – la città dove è stata scoperta la famosa stele, ed Alessandria, la patria dell’antica saggezza. Sono l’unico figlio maschio di una famiglia di tre sorelle e due affettuosi genitori. Mio padre era benvenuto e rispettato nella comunità – era disponibile, allegro e amava la vita. Lavorava per il governo ed aveva anche una sua impresa. Mia madre, buona e felice, ha dedicato tutta la sua vita ai figli e specialmente a me; era al centro della mia vita con la sua bontà, totale devozione ed intelligenza innata. Sebbene la nostra sia una piccola famiglia, gli Zewail sono molto conosciuti a Damanhur.

Il sogno della mia famiglia era che andassi a studiare all’estero per poi ritornare e diventare professore universitario – sulla porta della stanza dove studiavo avevano persino appeso un cartello con scritto “Dr. Ahmed”, anche se ero ancora lontano dal conseguimento del dottorato. Mio padre visse per

vedere quel giorno; invece, sfortunatamente il caro zio Rizk non c’è la fatta. Lo zio Rizk era speciale. Durante la mia infanzia imparai molto da lui: come apprezzare l’analisi critica, il piacere per la musica e la capacità di legare sia con la gente comune che con gli intellettuali. Era benestante, autodidatta ed era rispettato per la sua saggezza. Culturalmente, i miei interessi erano la lettura, la musica, alcuni sport ed il backgammon. La grande cantante Um Kulthum (vero nome Kawkab Elsharq – una diva dell’est) ha avuto una grande influenza sul mio gusto musicale. La letteratura era ed è ancora la mia vera passione.

Da ragazzo erano chiare le mie inclinazioni verso le scienze. Matematica, meccanica e chimica erano tra le materie che mi davano maggiori soddisfazioni. Le scienze sociali non mi attiravano molto perché, a quel tempo, consistevano per lo più nella memorizzazione di nomi e luoghi, e per ragioni a me sconosciute, la mia mente chiedeva in continuazione “come” e “perché”. Questa caratteristica mi ha seguito per tutta la vita. Durante la mia adolescenza, ricordo quanta emozione provavo nel risolvere un difficile problema di meccanica, per esempio quello in cui era richiesto di considerare tutte le fasi non banali necessarie ad una vettura per salire o scendere una collina. Anche se la chimica richiedeva un po’ di memorizzazione, ero affascinato dalla “matematica della chimica”. Questa materia permette di

creare fenomeni di laboratorio che, da ragazzo, volevo riprodurre e capire. Nella mia cameretta, avevo costruito una piccola apparecchiatura prendendo un bruciatore ad olio che mia madre usava per fare il caffè arabo e un paio di tubi di vetro; il mio scopo era osservare la trasformazione del legno in gas e in sostanza liquida. Ho ancora vivo questo ricordo, non solo per la scienza, ma anche perché potevo incendiare casa! Non mi è chiaro perché il mio interesse per le scienze nacque quando ero ancora così giovane.

Terminate le superiori, presentai la domanda per l'università. In Egitto, solitamente le domande si spediscono ad un ufficio centrale e, l'assegnazione della facoltà avviene per merito e non per l'indicazione della preferenza da parte degli studenti. Negli anni '60, Ingegneria, Medicina, Farmacia e Scienze erano le facoltà migliori ed io fui ammesso a quella di Scienze presso l'Università di Alessandria. Proprio perché agli studenti non era dato decidere, è stata la sorte a svolgere un ruolo cruciale e a regalarmi una carriera che amo ancora oggi moltissimo. A quel tempo non provavo ancora questa profonda sensazione e se mi avessero assegnato ad un'altra facoltà, probabilmente non avrei fatto nulla per cambiarla. La mia passione per la scienza divenne evidente fin dal primo giorno in cui entrai nel campus di Maharem Bek con mio zio – mi vennero le lacrime agli occhi al solo respirare la grandezza dell'università e l'atmosfera sacra. I miei voti durante i quattro anni furono il riflesso di questa passione. Mi laureai con il massimo dei voti e per questo motivo mi fu accordato uno stipendio mensile di circa 13 sterline, che era quasi come quello di un post-doc, pari a 17 sterline.

Dopo la laurea, fui assunto all'università come *Moeid* (letteralmente dimostratore), per poter continuare a far ricerca, conseguire prima il Master ed in seguito il Dottorato e al tempo stesso insegnare agli studenti dei primi anni. Si trattava di un posto di ruolo, che garantiva una futura cattedra all'università. Come insegnante avevo talmente successo che, anche se non ancora professore, facevo lezione agli studenti dopo che il vero professore aveva finito la sua. Grazie a questa esperienza scoprii il piacere di spiegare la scienza e i fenomeni naturali in modo molto chiaro e semplice, un piacere che era tanto più forte quanto gli studenti (500 o più) davano un riscontro positivo. A quel tempo, all'età di 21 anni, credevo che dietro ogni fenomeno universale dovesse esserci bellezza e semplicità, convinzione che per me rimane vera ancora oggi. Per quanto riguarda la ricerca, conseguii il Master in circa otto mesi e a quel punto ero pronto ad iniziare il dottorato di ricerca ma non c'era possibilità alcuna che potessi andare negli Stati Uniti. Innanzi tutto, non avevo nessun contatto all'estero; inoltre, poiché la guerra del '67 era appena terminata e gli investimenti americani in Egitto erano ai minimi storici, le uniche possibilità di studio all'estero erano l'Unione Sovietica o i paesi dell'est europeo. Era imperativo quindi ottenere una borsa di studio direttamente da un'università americana. Dopo aver scritto a dodici università, quella della Pennsylvania ed alcune altre mi offrirono una borsa di studio che includeva la retta universitaria ed uno stipendio (circa 300 dollari al mese). Ci furono ulteriori ostacoli al viaggio in America. Ci volle un'enorme energia e determinazione per oltrepassare tutti gli scogli burocratici.

Arrivato negli Stati Uniti, avevo la sensazione di esser stato buttato in un oceano. L'oceano era pieno di conoscenza, cultura, opportunità, e due erano le cose: imparare a nuotare o annegare. La cultura era straniera, la lingua difficile, ma le mie aspettative erano alte. Non sapevo parlare o scrivere in inglese, e non conoscevo la cultura occidentale in generale, né quell'americana in particolare. I miei voti alti fecero sì che i professori e gli

studenti iniziarono ad accorgersi di me – l'Egiziano della Penn – e anche la mia ricerca cominciò ad avere successo. La lista delle mie pubblicazioni cresceva e allo stesso tempo imparavo cose nuove – chimica, fisica ed altre discipline. Lavoravo quasi giorno e notte, a vari progetti simultaneamente. Adesso, ripensandoci, non credo che potrei rifare la stessa cosa, ma a quell'epoca ero giovane ed innocente. La mia ricerca e i vari requisiti per il conseguimento del dottorato terminarono nel '73, quando in Medio Oriente scoppiò un'altra guerra.

Ero incerto se ritornare in Egitto ed insegnare all'università, ma in quei primi anni di esperienza americana, i ricordi delle frustrazioni burocratiche che avevo dovuto sormontare per il trasferimento erano ancora vivi. Col tempo, le cose cambiarono e l'Egitto divenne solo sinonimo di una meravigliosa infanzia e di magnifiche opportunità. Ritornare a casa era importante per me, ma sapevo che l'Egitto non poteva darmi l'atmosfera scientifica di cui avevo beneficiato in America. Due o tre ulteriori anni negli Stati Uniti avrebbero dato a me ed alla mia famiglia due opportunità: un'altra area di ricerca in un'altra città (mentre imparavo il mestiere di professore); un salario più alto con cui avremmo potuto acquistare una grande automobile americana con cui cominciare il mio nuovo lavoro di professore dell'Università di Alessandria! Feci la domanda per cinque posti di lavoro, tre in America, uno in Germania ed in Olanda, e tutti con professori di livello mondiale. Ricevetti cinque offerte e la mia scelta cadde su Berkeley, in California.

All'inizio del '74, andammo a Berkeley, emozionati per le nuove opportunità. Culturalmente, trasferirsi da Philadelphia a Berkeley fu uno shock quasi come da Alessandria a Philadelphia – Berkeley era un mondo nuovo! Quando vidi Telegraph Avenue<sup>50</sup> per la prima volta, mi resi veramente conto della differenza. Conobbi anche tanti dottorandi di lingua e costumi a me ancora completamente estranei. Gli ostacoli non sembravano così terribili come quando ero arrivato all'Università di Philadelphia perché culturalmente e scientificamente ero più preparato. Berkeley era un posto fantastico per la scienza, anzi la Scienza. Stabilii il mio nuovo percorso di ricerca e mi resi subito conto dell'importanza del concetto di coerenza. Acquisii in poco tempo una rigorosa e nuova base teorica. Credo che questa transizione si sia dimostrata vitale negli anni successivi per la mia ricerca. Insieme ai miei collaboratori scrivemmo due articoli, uno teorico ed uno sperimentale che furono pubblicati su *Physical Review*. Altri seguirono. Riuscii in seguito ad estendere il concetto di coerenza ai sistemi multidimensionali e pubblicai il mio primo articolo da autore unico proprio negli anni di Berkeley. Pubblicai inoltre alcuni lavori in collaborazione con altri dottorandi.

Durante questo periodo, tante ottime università aprirono nuovi posti di lavoro ed io fui incoraggiato a fare domanda. Decisi di inviare una dozzina di domande e, dopo piacevoli visite e colloqui, mi furono offerti dei posti da Assistente Universitario in molti atenei, come Harvard, Caltech, Chicago, Rice e Northwestern. Il mio colloquio a Caltech andò bene, nonostante che in soli due giorni dovetti incontrare tutti i membri delle facoltà di chimica e di ingegneria chimica. La visita a Caltech fu stimolante, sorprendente e memorabile. I seminari che avevo preparato andarono bene, ricevetti anche degli elogi non meritati per il mio stile. Ad un certo punto, mentre parlavo del FVH dove F stava per Feynman, il famoso fisico e Premio

<sup>50</sup> Una pittoresca strada di 7 Km piena di ristoranti, librerie, negozi di ogni genere e bancarelle che comincia nello storico distretto di Oakland e termina a sud dell'Università di Berkeley.

Nobel di Caltech, andai alla lavagna per scrivere il suo nome e improvvisamente mi bloccai: non mi ricordavo più come si scrivesse. Mi girai quindi verso il pubblico e dissi: “naturalmente sapete come si scrive Feynman”. Tutti scoppiarono a ridere perché pensavano che stessi scherzando, ma in realtà ero serissimo! Accettai l’offerta di Caltech. Il gruppo di ricerca era molto ben avviato. Non ho mai rimpianto la decisione di aver accettato.

A Caltech, i membri della mia famiglia scientifica venivano da tutto il mondo, ognuno con esperienze, culture ed abilità differenti. La diversità di questo “micromondo” dove lavoravo giornalmente era molto stimolante ed offriva sempre nuove sfide in un clima di ottimismo. Al mio gruppo di ricerca hanno contribuito quasi 200 dottorandi, borsisti post-dottorato, e altri ricercatori con contratti temporanei; molti di loro occupano ora ottimi posti accademici, industriali, didattici e governativi. Lavorare con queste menti in un “villaggio di scienza” è stata un’esperienza davvero gratificante, Caltech era il posto giusto per me.

I miei figli biologici sono tutti “made in America”. Ho due figlie di cui sono molto orgoglioso: Maha, ha conseguito la laurea breve a Caltech e il dottorato alla University of Texas, Austin; Amani, si è laureata a Berkeley e sta attualmente facendo il Master alla University of Chicago. Dema, mia moglie, è laureata in medicina all’università di Damasco e ha completato il suo Master in sanità pubblica ad UCLA. Abbiamo anche due bambini piccoli, Nabeel e Hani, che portano gioia ed entusiasmo nella nostra vita.

Il viaggio dall’Egitto all’America è stato pieno di sorprese. Quando iniziai il mio percorso scientifico, non capivo quanto fosse importante il Premio Nobel e quanta influenza avesse sull’Occidente. Di solito, in famiglia, ci riunivamo di fronte la TV o leggevamo nei quotidiani dei riconoscimenti dati dal presidente agli scienziati egiziani ed ai famosi scrittori; questi momenti ci davano vere emozioni – forse un giorno saremmo stati noi a ricevere un premio per i nostri contributi scientifici o letterari. Decenni dopo, quando il Presidente Mubarak mi conferì l’Ordine al Merito ed il Gran Collare del Nilo (*Kiladate El Niel*), il più alto riconoscimento dello Stato, mi ricordai di quei giorni emozionanti della mia gioventù. Non mi sarei mai aspettato che il mio ritratto, affianco alle piramidi, sarebbe stato riportato su un francobollo o che la scuola che frequentavo da ragazzo e la strada che porta a Rosetta avrebbero portato il mio nome. Sicuramente non ho mai sognato che un giorno mi sarebbe stato conferito il premio Nobel. Ma con passione e sincerità, *È Possibile*, perché i successi dell’uomo non dovrebbero essere limitati né dalla razza né dalle origini.

## RINGRAZIAMENTI

La realizzazione di questo volume è stata possibile grazie alla fattiva collaborazione degli studenti delle scuole superiori che, coordinati dai propri insegnanti, hanno tradotto i contributi dall'inglese:

Ginnasio “Gian Rinaldo Carli”, Capodistria, Slovenia

Studente: Jessica Vodopija

Docente: Loredana Sabaz

Liceo “Leopardi-Majorana” Classico-Scientifico-Sociopedagogico, Pordenone

Studenti: Alessia Anese, Matteo Antonel, Daniele Battaia, Paolo Bellomo, Irene Cedolin,

Aurora Cleva, Andrea Comina, Stefano Da Ros, Marco Di Pietra, Angelo Giacinta,

Eugenia Pedrotti, Valeria Pedrotti, Valentina Ros, Alberto Simonetti, Francesco Sindico

Docenti: Maddalena Falanga, Patrizia Pizzinato, Andrea Secomandi, Carla Giuliani

Liceo Scientifico Statale “Michelangelo Grigoletti”, Pordenone

Studenti: Alberto Battaia, Anita Spezzacatene, Luca Tramontin

Docente: Luciano Battaia

Liceo Scientifico “Albert Einstein”, Cervignano del Friuli (UD)

Studenti: Teresa Acciarino, Giulia Apadula, Linda Basile, Paolo Belgio, David Benvenuto,

Raffaella Bernardi, Francesco Bernardini, Luca Bianchin, Veronica Bordignon,

Francesca Bortolamei, Daniele Bovini, Manuel Bragagnini, Sara Bufo, Alessia Buso,

Giuseppe Cappello, Giada Capuana, Veronica Cara, Federica Cecotti, Alice Ciavai,

Matteo Cicogna, Giacomo Citossi, Deborah Civita, Libera Clemente, Alice Comisso,

Erica De Nardo, Luca Di Bernardo, Marco Fagnini, Mariapiera Fidanza, Michela Finco,

Lorenzo Fogar, Iacopo Fornasin, Saverio Fracaros, Massimo Fratantonio, Cristina

Gabas, Rosita Garbuio, Guido Genovese, Cristina Ghin, Gaia Glereani, Valentina

Granziera, Claudio Gratton, Lorena Ietri, Sara Leggieri, Emilio Lenarduzzi, Marco

Leone, Stefano Libralato, Stefano Manno, Marco Maran, Eleonora Marini, Carlotta

Mason, Mauro Maurigh, Andrea Meneghetti, Francesca Mesce, Denise Moro, Davide

Mossenta, Monica Murer, Lucia Nalon, Cristina Piatti, Sara Piccini, Federica Polo,

Alessia Regni, Tania Rigonat, Antonella Romano, Fabio Rossetto, Gianluca Serpi, Elena

Sfiligoi, Eva Sfiligoi, Lina Sguassero, Lavinia Soardo, Anna Soyer, Valentina Stincone,

Federico Stramare, Jacopo Tessaro, Elisa Tolar, Giulia Tomasin, Martina Tomat, Marta

Tosoratti, Debora Turolla Turatti, Anna Vidal, Valentina Vidal, Benedetta Vignando,

Marco Virgolin, Viktoriya Volynets, Anastasia Vrech, Manuel Vrizzi, Marta Zamarian,

Thomas Zanello

Docenti: Stefania Negri, Marilena Beltramini, Tiziana Marangoni, Alessandra Tortul,

Rossanna Virgolin

Liceo Scientifico Statale “Michelangelo Buonarroti”, Monfalcone (GO)

Studente: Antonino Gianò

Docente: Alessandra Pallavicini

Liceo Ginnasio “Francesco Petrarca”, Trieste

Studenti: Elena Baracchini, Luca Barnobi, Federica Basile, Francesco Bernasconi, Rosa Bortulin, Jessica Bossi, Luca Brazzatti, Fulvio Bullo, Hanna Buzimkic, Annalisa Carletti, Enrico Cattaruzza, Martina Chelleri, Davide Ciullo, Stefano Cocca, Giovanna Collini, Valentina Coronica, Enrico Cumbo, Veronica Cuscusa, Alex Dagi, Irene De Angelis, Eleonora Dobrilla, Vanessa Facciaroni, Enrica Fakhouri, Monica Giorgi, Carlotta Glerean, Vladana Iljev, Jessica Iori, Giulia Legovich, Roberta Liccardi, Elisa Luch, Michelle Maggiorino, Ivan Milenkovic, Daniela Montecalvo, Sara Montesion, Lorenzo Mucchino, Eleonora Navarra, Paola Netto, Antonio Padovano, Martina Paludetto, Giulia Pescatori, Federica Pesce, Anna Ramponi, Marta Rihter, Alberto Rossi, Marlena Ruci, Veronica Rustignoli, Gaia Sancin, Antonietta Sarao, Lucia Slavica, Monica Stopper, Caterina Travan, Valentina Valè, Andrea Caterina Vascon, Vittoria Verazzi, Giovanna Zingirian, Andrea Zubin

Docenti: Serena Davide, Franca Decolle Kostoris, Davide Decolle, Rita Marchetti, Donatella Patrone, Flavia Selvaggi, Maria Teresa Zanardi

Liceo Scientifico “Galileo Galilei”, Trieste

Studenti: Elia Bonazza, Gheorghe Ganea, Francesca Gnesda, Michele Gregori, Katerina Jerman, Massimiliano Kjuder, Chiara Longo, Monica Marini, Federica Miani, Matteo Micol, Kataryna Nurowska, Giulia Nussdorfer, Iaria Oselladore, Amedeo Pezzi, Nicoletta Predonzani, Andrea Ricci, Matteo Russo, Marco Scrigner, Simone Slobez, Massimiliano Stocovaz, Marco Storelli

Docenti: Anna Rambelli, Filippo Tarsia

Inoltre, i seguenti studenti hanno contribuito a titolo personale:

Paola Agostini, Elisabetta Giorni - Liceo Scientifico “Francesco Redi”, Arezzo

Antea Brugnani - Centro Educativo Ignaziano, Palermo

Emiliano Ippoliti - Studente collaboratore della Biblioteca ICTP

Alejo Keuroghlanian - Studente collaboratore della Biblioteca ICTP

Andrea Selleri - Facoltà di Lettere, Università di Trieste

Lorenzo Visintin - Istituto Professionale “L. Galvani”, Trieste

Jamie Zobenì - Liceo Linguistico Europeo “V. Bachelet”, Trieste

Per la revisione dei contenuti scientifici, un apprezzamento speciale alla competenza e disponibilità dei Professori:

Fabio Benatti, Luciano Bertocchi, Ugo Bruzzo, Giorgio Calucci, Paolo Creminelli, Antonio De Simone, Gianfausto Dell’Antonio, Gallieno Denardo, Marco Fabbrichesi, Barbara Fantechi, Giuseppe Furlan, Edi Gava, GianCarlo Ghirardi, Filippo Giorgi, Giovanni Landi, Matteo Marsili, Cristian Micheletti, Alvisè Nobile, Giorgio Pastore, Maria Peressi, Raffaele Resta, Giuseppe Santoro, Sandro Scandolo, Mario Tosi, Daniele Treleani, Claudio Tuniz, Claudio Verzegnassi, Riccardo Zecchina

La revisione dei testi in italiano è stata curata da Laura Ventruto.

Traduzione curata da giovani studenti di vari istituti superiori di Trieste, Pordenone, Monfalcone, Cervignano del Friuli, Arezzo, Palermo e Capodistria, coordinati dai propri insegnanti, con la collaborazione dell'ICTP:

*Teresa Acciarino, Paola Agostini, Alessia Anese, Matteo Antonel, Giulia Apadula, Elena Baracchini, Luca Barnobi, Federica Basile, Linda Basile, Alberto Battaia, Daniele Battaia, Paolo Belgio, Paolo Bellomo, David Benvenuto, Raffaella Bernardi, Francesco Bernardini, Francesco Bernasconi, Luca Bianchin, Elia Bonazza, Veronica Bordignon, Francesca Bortolamei, Rosa Bortulin, Jessica Bossi, Daniele Bovini, Manuel Bragagnini, Luca Brazzatti, Antea Brugnoli, Sara Bufo, Fulvio Bullo, Alessia Buso, Hanna Buzimkic, Giuseppe Cappello, Giada Capuana,*

*Veronica Cara, Annalisa Carletti, Enrico Cattaruzza, Federica Cecotti, Irene Cedolin, Martina Chelleri, Alice Ciavai, Matteo Cicogna, Giacomo Citossi, Davide Ciullo, Deborah Civita, Libera Clemente, Aurora Cleva, Stefano Cocca, Giovanna Collini, Andrea Comina, Alice Comisso, Valentina Coronica, Enrico Cumbo, Veronica Cuscusa, Stefano Da Ros, Alex Dagi, Irene De Angelis, Erica De Nardo, Luca Di Bernardo, Marco Di Pietra, Eleonora Dobrilla, Vanessa Facciaroni, Marco Fagnini, Enrica Fakhouri, Mariapiera Fidanza, Michela Finco, Lorenzo Fogar, Iacopo Fornasin, Saverio Fracaros, Massimo Fratantonio, Cristina Gabas, Gheorghe Ganea, Rosita Garbuio, Guido Genovese, Cristina Ghin, Angelo Giacinta, Antonino Gianò, Monica Giorgi, Elisabetta Giorni, Carlotta Glerean, Gaia Glereani, Francesca Gnesda, Valentina Granziera, Claudio Gratton, Michele Gregori, Lorena Ietri, Vladana Ilijev, Jessica Iori, Katerina Jerman, Massimiliano Kjuder, Sara Leggieri, Giulia Legovich, Emilio Lenarduzzi, Marco Leone, Stefano Libralato, Roberta Liccardi, Chiara Longo, Elisa Luch, Michelle Maggiorino, Stefano Manno, Marco Maran, Eleonora Marini, Monica Marini, Carlotta Mason, Mauro Maurigh, Andrea Meneghetti, Francesca Mesce, Federica Miani, Matteo Micol, Ivan Milenkovic, Daniela Montecalvo, Sara Montesion, Denise Moro, Davide Mossenta, Lorenzo Mucchino, Monica Murer, Lucia Nalon, Eleonora Navarra, Paola Netto, Kataryna Nurowska, Giulia Nussdorfer, Ilaria Oselladore, Antonio Padovano, Martina Paludetto, Eugenia Pedrotti, Valeria Pedrotti, Giulia Pescatori, Federica Pesce, Amedeo Pezzi, Cristina Piatti, Sara Piccini, Federica Polo, Nicoletta Predonzani, Anna Ramponi, Alessia Regni, Andrea Ricci, Tania Rigonat, Marta Rihter, Antonella Romano, Valentina Ros, Fabio Rossetto, Alberto Rossi, Marlena Ruci, Matteo Russo, Veronica Rustignoli, Gaia Sancin, Antonietta Sarao, Marco Scrigner, Andrea Selleri, Gianluca Serpi, Elena Sfiligoj, Eva Sfiligoj, Lina Sguassero, Alberto Simonetti, Francesco Sindico, Lucia Slavica, Simone Slobez, Lavinia Soardo, Anna Soyer, Anita Spezzacatene, Valentina Stincione, Massimiliano Stocovaz, Monica Stopper, Marco Storelli, Federico Stramare, Jacopo Tessaro, Elisa Tolar, Giulia Tomasin, Martina Tomat, Marta Tosoratti, Luca Tramontin, Caterina Travan, Debora Turolla Turatti, Valentina Valè, Andrea Caterina Vascon, Vittoria Verazzi, Anna Vidal, Valentina Vidal, Benedetta Vignando, Marco Virgolin, Lorenzo Visintin, Jessica Vodopija, Viktoriya Volynets, Anastasia Vrech, Manuel Vrizzi, Marta Zamarian, Thomas Zanello, Giovanna Zingirian, Jamie Zobenì, Andrea Zubin*

In questa raccolta di un centinaio di saggi di facile lettura, alcuni dei più prestigiosi fisici e matematici, in vario modo legati all'ICTP, ci raccontano cosa li ha attratti da giovani verso la scienza ed ha mantenuto viva la passione, e come hanno contribuito allo straordinario patrimonio scientifico. La lettura è stimolante per gli studenti delle scuole superiori ed i giovani universitari, a cui principalmente è rivolto, ma anche i ricercatori di lungo corso lo troveranno interessante.

- dalla prefazione