HANNO COLLABORATO A QUESTO NUMERO:
G. Artioli , G. Benedek, L. Belloni, M. Bersanelli, A. Bettini, C. Bradaschia, V. Celli, L. Cifarelli, S. Croci, P. de Bernardis, S. De Pasquale, E. de Wolf, F. Guerra, R. C. Iotti, Y. Hwu, B. Jonson, P. A. Mandò, G. Margaritondo, N. Masciocchi, P. Mataloni, M. Michelini, N. Robotti, F. Rossi, L. Sansoni, F. Sciarrino, N. Spagnolo, R. M. Sperandeo Mineo, J. P. Toennies, C. Vitelli, A. Yoshioka

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 29 • N. 5 settembre-ottobre 2013 • N. 6 novembre-dicembre 2013

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORE
Giuseppe Grosso

COMITATO SCIENTIFICO
G. Benedek, A. Bettini, P. Cenci, S. Centro, E. De Sanctis, A. Di Virgilio, S. Falciano, F. Ferroni, E. Iarocci, I. Ortalli, F. Palmonari, P. Picchi, B. Preziosi

SOMMARIO

3 EDITORIALE
L. Cifarelli

SCIENZA IN PRIMO PIANO

5 **Simulating quantum physics by integrated photonic circuits in detector technology**
L. Sansoni, N. Spagnolo, C. Vitelli, F. Sciarrino, P. Mataloni

17 **Semiconductor nanodevices: facing the fascinating world of quantum mechanics**
R. C. Iotti, F. Rossi

FISICA E...

25 **L'universo quasi perfetto di Planck**
P. de Bernardis, M. Bersanelli

PERCORSI

37 **Alfred Nobel and the Nobel Prizes**
B. Jonson

45 **The new birth of radiology – More than one century after Röntgen**
G. Margaritondo, Y. Hwu

IL NOSTRO MONDO

59 **Cerimonia Inaugurale 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica**

73 **L'arte aiuta la scienza e la scienza ispira l'arte**
C. Bradaschia

76 **Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa**
A. Bettini

News

78 **The Italian Physical Society "Enrico Fermi" Prize and Medal 2013**
A. Bettini

80 **SIF-IOP "Giuseppe Occhialini" Prize and Medal 2013**
A. Bettini

81 **Il Premio Nobel per la Fisica 2013**
A. Bettini

85 **Anno Internazionale della Cristallografia – 2014: cent'anni di diffrazione**
G. Artioli, N. Masciocchi

87 **Questione di genere: GENOVATE, il progetto europeo con partecipazione italiana**
S. Croci

88 **Structural Change in Promoting Gender Equality in Research**
E. de Wolf

89 INTERVISTA A
Giovanni Organtini
S. De Pasquale

90 RECENSIONI

91 IN RICORDO DI(*)
Elena Sassi (R. M. Sperandeo Mineo, M. Michelini)
Romeo Bassoli (P. A. Mandò)

92 IN EVIDENZA

93 ANNUNCI

95 INDICE VOLUME 29

(*) Il testo completo è pubblicato online: www.sif.it/attivita/saggiatore/ricordo

MODALITÀ DI ISCRIZIONE ALLA SIF

Per iscriversi occorre presentare domanda di associazione con un breve curriculum scientifico e l'indicazione di due Soci presentatori.
La domanda di associazione può essere fatta online (oppure scaricando l'apposito modulo di associazione, pubblicato anche in questo fascicolo) all'indirizzo: `http://www.sif.it/associazione`.
La domanda verrà poi esaminata ed eventualmente approvata dal Consiglio di Presidenza.
Il pagamento della quota sociale, nei modi sotto indicati, dovrà avvenire dopo aver ricevuto comunicazione della accettazione a Socio.

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale può essere effettuato:

- Online nell'Area Soci del sito web della SIF; in questo caso si utilizza la carta di credito, con collegamento diretto e sicuro al sito della Banca Nazionale del Lavoro (BNL).
  Ricordiamo che l'Area Soci è un'area protetta per accedere alla quale occorre utilizzare username e password che vengono inviati a tutti i Soci. (Per accedere agli altri servizi disponibli nell'Area Soci occorre essere Soci in regola).
- Seguendo le modalità pubblicate in rete all'indirizzo:
  `http://www.sif.it/associazione`.
  In caso si desideri procedere anche in questo caso con la carta di credito, ricordarsi di usare l'apposito modulo debitamente compilato in tutte le sue parti.
- È anche possibile rinnovare l'associazione alla European Physical Society (EPS) attraverso le rispettive società nazionali. I Soci che desiderano pagare la propria quota di associazione all'EPS tramite la SIF possono farlo con le modalità di cui sopra.
  Le quote di associazione all'EPS sono pubblicate in ultima pagina e in rete allo stesso indirizzo sopraindicato.

HOW TO BECOME A SIF MEMBER

To apply for membership an application form must be filled in, including a brief scientific curriculum and the signatures of two introducing Members.
The application can be filled in online or downloading the application form at the following address:
`http://en.sif.it/association`.
The application form will be examined and eventually approved by the Council. Applicants will have to pay the membership dues, as indicated in the form, only after having been informed by the Society about the acceptance of their application.

MEMBERSHIP RENEWAL

Those who wish to renew membership, may pay dues by one of the following terms of payment:

- Online by credit card through direct connection with the bank (BNL). This service can be accessed through the Members Area of the SIF website.
  We remind you that the Members Area is secured and can be accessed only through the username and password supplied to Members.
- By cheque or credit card filling the payment form published on the web at the address:
  `http://en.sif.it/association`.
  In case you wish to use the credit card also in this case, make sure to fill in the form in all its parts.
- It is also possible to renew the association to the European Physical Society (EPS) through the respective national societies. Members who wish to pay the EPS association fee through SIF can do so according to the instructions above. The EPS association fees are available on the SIF website at the above-indicated address.

EDITORIALE / EDITORIAL

Con il finire del 2013, si rinnova il Consiglio della Società Italiana di Fisica (SIF). L'esito delle elezioni, che compare alla pagina 72 di questo fascicolo, mi vede riconfermata alla presidenza della Società. Ve ne sono molto grata e ne sono molto onorata. Nel prossimo triennio cercherò di attuare – insieme a tutti i Membri del Consiglio di Presidenza e con il loro aiuto – il programma delineato[1].

Nel 2013 si è anche conclusa la mia esperienza di Presidente della Società Europea di Fisica.

Il mio biennio all'EPS è stato stimolante ed entusiasmante. La SIF continuerà a sostenere attivamente la Società Europea e a trarne ispirazione. Sotto la presidenza del mio successore, in carica dal mese di aprile 2013, si è appena concretizzata l'iniziativa che ho avuto il piacere di lanciare con il bel workshop di Varenna del 2011, dal titolo "Passion for Light". Nello scorso mese di dicembre è stato infatti finalmente dichiarato dall'Assemblea Generale dell'ONU il 2015 come "Anno Internazionale della Luce". Per noi in Italia sarà un anno eccezionale poiché coinciderà con l'anno dell'EXPO di Milano. Ci daremo tutti da fare per promuovere in questo contesto la Fisica e le tecnologie della Luce, e tutto che ciò che ne deriva per il progresso della Scienza, della conoscenza e della società in senso lato.

L'inizio del 2014 coincide con il debutto della newsletter SIF Prima Pagina, che con cadenza mensile fungerà da complemento al nostro quasi trentenne Il Nuovo Saggiatore. SIF Prima Pagina sarà un notiziario puramente elettronico che cercherà di informare in tempo reale con notizie di interesse per tutti i fisici: premi, concorsi, bandi, scadenze, fatti, eventi e opinioni dall'Italia, dall'Europa e dal mondo. In anteprima in questa pagina compare il banner della newsletter, che come sempre ricorda lo storico stemma della SIF. La newsletter, non destinata ai soli Soci SIF, è inviata a una lista allargata di oltre 20000 "addetti ai lavori". Aspettiamo dunque anche da voi numerosi contributi!

Concludo ringraziando con affetto i Consiglieri uscenti, ossia Enzo De Sanctis, Guido Piragino e Angiolino Stella. In questi anni, il loro contributo per la SIF è stato fondamentale. Per fortuna hanno tutti accettato di continuare a partecipare alle attività della SIF, specie nel settore editoriale. Un grato ricordo va infine all'amico Vincenzo (Enzo) Grasso, il nostro validissimo Segretario Cassiere recentemente scomparso.

Il miei migliori auguri ai nuovi Consiglieri e a voi tutti.

[1] Rimando al mio Editoriale del precedente numero de Il Nuovo Saggiatore, vol. 29, no. 3-4, p. 3.

SIF prima pagina

Società Italiana di Fisica — 115 anni e oltre

Towards the end of 2013 the Council of the Italian Physical Society (SIF) has been renewed.

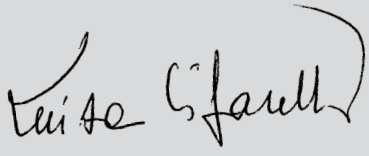
The results of the elections, published in this issue on page 72, have confirmed me as President of the Society. This makes me feel particularly honoured and for this I am very grateful to you. In the three years to come I will work – in close collaboration with the Members of the Council and with their help – to put the outlined program[1] into effect.

In 2013 my experience as President of the European Physical Society (EPS) came to an end. This two-year mandate at the EPS has been for me stimulating and exciting. The SIF will continue to actively support the EPS and draw inspiration from it. Under the Presidency of my successor, who took office in April 2013, the initiative that I had the pleasure to start with the successful workshop "Passion for Light" of 2011 in Varenna, has just become reality. Actually during the past month of December, the United Nations General Assembly has finally proclaimed 2015 as the "International Year of Light". Here in Italy it will be an exceptional year since it will coincide with the year of the EXPO in Milan. We all shall make any effort to actively promote in this context the Physics and technologies connected to Light, and whatever derives from them for the progress of Science, knowledge and society at large.

The beginning of 2014 will also see the launch of SIF Prima Pagina (SIF Front Page), the monthly newsletter that will be a complement to our almost 30 years old magazine Il Nuovo Saggiatore. SIF Prima Pagina, an electronic only newsletter, is aimed to timely distribute interesting news for the physicists' community: prizes, competitions, announcements, deadlines, facts, events and opinions from Italy, Europe and from all over the world. We here disclose in advance the banner of the newsletter, which as usual refers to our historic logo. The newsletter is not only intended for Members, it will be actually distributed to an extended mailing list of over 20000 "people involved". We then expect numerous contributions from you as well!

Let me conclude by heartily thanking the stepping down Councillors, namely Enzo De Sanctis, Guido Piragino, and Angiolino Stella. Over the past years their contribution to the Society has certainly been of paramount importance. Fortunately they have all accepted to continue to be involved in SIF activities, in particular the editorial ones. A thoughtful memory finally goes to our dear friend Vincenzo (Enzo) Grasso, our valuable Secretary Treasurer, who recently passed away.

My best wishes to the newly elected Councillors and to you all.



[1] See my Editorial in the past issue of Il Nuovo Saggiatore, vol 29, n. 3-4, p. 3.

VARENNA - VILLA MONASTERO - LAKE COMO

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"

190th Course ⊰ **29 June - 5 July 2014**
"Frontiers of Modern Optics"
Directors:
J. DUDLEY (Université de Franche-Comté, Besançon)
D.FACCIO (Heriot-Watt University, Edinburgh)

191st Course ⊰ **6 - 15 July 2014**
"Quantum Matter at Ultralow Temperatures"
Directors:
M. INGUSCIO (LENS, Università di Firenze, DSFTM-CNR, Firenze)
W. KETTERLE (MIT, Cambridge, MA)
S. STRINGARI (Università di Trento, INO–CNR, BEC Center, Trento)

JOINT EPS-SIF INTERNATIONAL SCHOOL ON ENERGY

2nd Course ⊰ **16 - 23 July 2014**
"Energy: Basic Concepts and Forefront Ideas"
Directors:
L. CIFARELLI (Università di Bologna)
F. WAGNER (Max–Planck–Institut für Plasmaphysik, Greifswald)

192nd Course ⊰ **24 - 31 July 2014**
"Grid and Cloud Computing"
Directors:
F. CARMINATI (CERN, Geneva)
L. BETEV (CERN, Geneva)

100° CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Pisa, 22 - 26 settembre 2014

SIMULATING QUANTUM PHYSICS BY INTEGRATED PHOTONIC CIRCUITS

LINDA SANSONI[1], NICOLÒ SPAGNOLO[1], CHIARA VITELLI[1,2], FABIO SCIARRINO[1,3], PAOLO MATALONI[1,3]

[1] *Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma, Roma, Italy*
[2] *Center for Life NanoScience @ Sapienza, Istituto Italiano di Tecnologia, Roma, Italy*
[3] *Istituto Nazionale di Ottica, Consiglio Nazionale delle Ricerche (INO-CNR), Firenze, Italy*

Modern quantum technologies allow to isolate, manipulate, control, and detect single particles, enabling specific tasks that would be inaccessible to systems operating classically, in particular to reproduce, *i.e.* to simulate, the dynamics of quantum phenomena. However many of these demonstrations are still far from real-world applications. In this perspective, new horizons may be disclosed by recent achievements in quantum simulation experiments performed with quantum photon states. They are based on the use of integrated photonic devices having the potential of speeding-up the evolution from lab systems to the next generation of quantum optical devices for real-world applications.

1 Introduction

Quantum information (QI) originated in the late 80's and early 90's from the merging of classical information and quantum physics. This research field, which has undergone a huge and rapid growth of the last few years, has the potential to revolutionize many areas of science and technology. It is multidisciplinary by nature, with scientists coming from diverse areas, both in theoretical and experimental physics, such as atomic physics, quantum optics and laser physics, condensed matter, up to computer science, mathematics, material science and engineering. The main goal of QI is to manipulate and to process the information by using quantum systems, in particular for the control and manipulation of the degrees of freedom of quantum particles. On this perspective, completely new schemes of information transfer and processing, enabling new forms of communication and enhancing the computational power, are expected to be developed. Indeed, while QI holds the promise of immense computing power, far beyond the capabilities of any classical computer, it guarantees, in principle, absolutely secure communication and it is directly linked to novel quantum technologies and devices.

Quantum Information usually deals with quantum bits, or "qubits", *i.e.* 2-dimensional quantum systems that do not possess in general the definite values of 0 or 1 of classical bits, but rather are in a coherent superposition of the two orthogonal basis states. Such state reveals unusual properties, especially when dealing with composite systems. The most distinctive feature of quantum physics is given by the possibility of entangling different qubits. First recognized by Erwin Schroedinger as "the characteristic trait of quantum mechanics", quantum entanglement represents the key resource for modern QI processing. It derives from subtle non-local correlations between the parts of a quantum system and combines three basic structural elements of quantum theory, namely the superposition principle, the quantum non-separability property and the exponential scaling of the state space with the number of partitions. Quantum entanglement, that has no classical analogue, when associated with non-classical correlations

among separated quantum systems, can be used to perform computational and cryptographic tasks that are impossible with classical systems.

Important research efforts have been focused in the last few years within the QI community on the simulation of quantum physical processes. As first envisaged by Feynman [1], nothing can beat a quantum system in simulating another quantum system. A quantum simulator is indeed a quantum system that can be controlled in its preparation, evolution and measurement and whose dynamics can implement that of the target quantum system we want to simulate. Several examples can be given in this context, for instance the energy transfer within photosynthetic systems, displaying quantum effects such as delocalized excitonic transport, may be simulated by the so-called quantum walk. Moreover, a light-harvesting molecule is well described by the Anderson localization of a quantum walker: the molecule is efficient in concentrating light at its center as quantum walk reaches the target vertex exponentially faster than a classical walk because of destructive interference between the paths pointing backward, towards the leaves. As a final example, the entanglement can be associated to the interaction between spin-1/2 particles in order to mimic the transition from localized valence-bond configuration to the superposition of different valence-bond states, a phenomenon which might explain high-temperature superconductivity in cuprates.

Among the different approaches to QI technologies, quantum optics represents an excellent experimental test bench for a large variety of novel concepts. Photons are in fact the natural candidate for QI transmission since they are practically immune from decoherence and can be distributed over long distances, both in free-space and in low-loss optical fibres. Photons are also important for future quantum networks and represent an obvious choice for optical sensing and metrology, finally they are a promising candidate for computing. Quantum states of photons can be easily and accurately manipulated using both linear and non-linear optical devices and can be efficiently measured by efficient single-photon detectors. In quantum optics the qubit is implemented by a single photon which realizes a quantum state with a discrete number of levels. Efficient single photon and/or entangled photon sources are required. Pairs of entangled photonic qubits are usually generated by the spontaneous parametric down-conversion (SPDC) process in a 2nd-order non-linear crystal where, under suitable conditions, a pump photon of frequency ν_p is annihilated and two photons of frequencies ν_1 and ν_2 are created, with $\nu_p = \nu_1 + \nu_2$, along the wave vectors $\mathbf{k}_1$ and $\mathbf{k}_2$, with $\mathbf{k}_p = \mathbf{k}_1 + \mathbf{k}_2$. Qubits are generally implemented by adopting photon polarization states, with entangled states realized by the orthogonal states corresponding to the horizontal (H) and vertical (V) polarizations. Further examples of photonic qubits are given by other accessible degrees of freedom, such as longitudinal momentum, orbital angular momentum and the conjugated variables of energy and time.

Up to now the implementation of optical systems of up to 8 qubits has provided a large amount of exciting results giving an unprecedented insight in the quantum world. The obtained experimental results range from fundamental tests of quantum mechanics (non-locality tests, quantum contextuality) to quantum computing (implementation of algorithms, simulation of chemical systems) and optical quantum metrology (quantum illumination, quantum imaging and sensing).

Both single-qubit and two-qubit operations need to be addressed with high sensitivity in order to operate efficiently with multi-qubit systems, a requirement which is out of reach with the up to date experimental approaches. It is worth remembering that the current technology does not allow to extend the previous achievements because of many practical limitations. In fact, the development of increasingly complex quantum-optical schemes realized by bulk optics suffers from severe limitations as far as stability, operation precision and physical size are concerned. Using individual bulk-optical components to build just one interferometric structure, providing the stability and the accuracy of the optical phase control required by quantum mechanics, is an extremely difficult task. Furthermore, it is virtually impossible to achieve this task outside environments with controlled temperature and vibration, and this makes any application outside laboratory not achievable.

A recent breakthrough is represented by the emergence of integrated photonic technology in the realm of quantum applications, giving rise to a new generation of integrated waveguide structures consisting of complex quantum circuits with almost perfect intrinsic phase stability [2]. Integrated photonics enables the fabrication of on-chip platforms for powerful applications of quantum communication and computation and allows to solve critical problems in terms of scalability and reliability. Using the mobility of photons we are able to create arbitrary interconnections within interferometer arrays fabricated on single integrated platforms and to realize complex optical circuits performing basic quantum logic gates and algorithms [2-4] and representing the hardware of a quantum simulator operating with photons.

In this article we present the main quantum simulation experiments performed with integrated photonic circuits by our group at Sapienza Università di Roma, in strong synergy with the group of IFN-CNR (Istituto di Fotonica e Nanotecnologie – Consiglio Nazionale delle Ricerche) and Politecnico di Milano.

2 Quantum interference within integrated photonic devices: the beam splitter

Unusual effects may be observed when two or more quantum light beams are combined together; just think, for example, of quantum interference, which arises from the superposition of two coherent light beams. To observe these phenomena, devices able to manipulate light are needed. Among the different devices the most simple one is the so-called "beam splitter" (BS). It is an optical element able to divide a light beam impinging on it (fig. 1a): a photon incoming on a BS is in a superposition state being reflected and transmitted at the BS interface, according to its reflectivity. When dealing with quantum light, this device allows to observe a particular phenomenon with no counterpart in the classical world. Let us consider a BS with 50% reflectivity, and two photons impinging each on the input ports. Since each photon has 50% probability to be reflected or transmitted, on a classical point of view we expect two possible final scenarios: photons emerge both from the same output (one photon is reflected at the BS while the other is transmitted) or they emerge from different outputs (both photons are reflected or transmitted). These events occur with the same probability ½.

When two quantum (*i.e.* indistinguishable) photons are impinging on the BS, a surprising effect arises: due to their bosonic nature, photons always emerge from the same output (fig. 1b left), a phenomenon known as the Hong-Ou-Mandel (HOM) effect [5]. It has no classical analogue, and represents an important resource in many QI research areas, from quantum computation to quantum metrology. This result makes the BS a basic element for quantum experiments with light.

We may ask at this point: how does an entangled state behave on a BS? The answer is simple and quite surprising. In this case we must take into account the symmetry of the wave function. Let us consider as input states for the beam splitter the two-photon entangled states

$$|\xi^{\pm}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[|2\rangle_1 |0\rangle_2 \pm |0\rangle_1 |2\rangle_2\right] ,$$

where $|n\rangle_j$ represent a state with n photons in the input j. Clearly $|\xi^{+}\rangle$ is symmetric under particle exchange, while $|\xi^{-}\rangle$ is antisymmetric.

It is easy to demonstrate that, when an entangled symmetric state is injected in the BS, the resulting output will be entangled with two photons emerging from the same output mode, while in the opposite case the two photons will emerge always from different outputs (fig. 1b). This result is obtained for a two-photon state entangled in the path (or in the longitudinal momentum **k**) of photons, which is the same degree of freedom the BS acts on, thus, its action can affect the entanglement. In a different manner, if we inject one photon per mode and the two photons share entanglement in other degrees of freedom (*e.g.* polarization, orbital angular momentum, etc.), since the BS acts on the longitudinal momentum, the entanglement in other degrees of freedom will not be affected by its action. Nevertheless, because of symmetric entanglement, photons will emerge

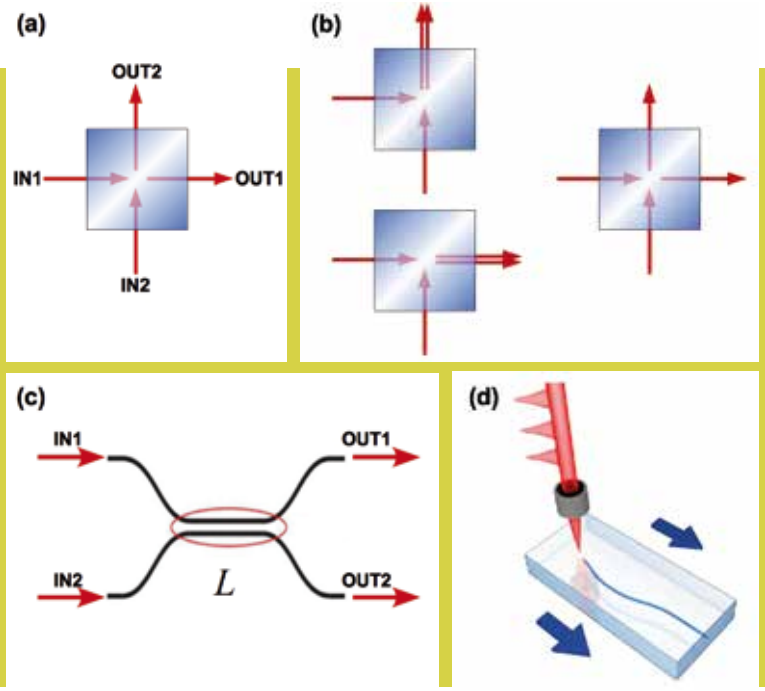


Fig. 1 (a) Scheme of a bulk beam splitter (BS) with input and output modes. (b) Possible output configurations when two photons are injected into the BS: photons emerge from the same output (left) or one per output (right). (c) Scheme of a directional coupler of length *L*, the integrated version of a bulk beam splitter. In analogy with inset (a) input and output ports are shown. (d) Ultrafast laser writing technique: a femtosecond laser is focused on a glass substrate. By moving the substrate with respect to the laser beam it is possible to directly write a waveguide in the bulk of glass.

simultaneously from the same output, while antisymmetric entanglement will result in a state with one photon per output mode. This concept is at the basis of the simulation of fermionic and bosonic statistics performed in our experiment with integrated photonic devices and using polarization entangled photons. We may, thus, observe both the bosonic and the fermionic behavior of two-particle systems with the same physical system (photon pairs), simply exploiting the entanglement between them.

3 Laser written integrated directional coupler

As said, modern communication technology is based on integrated devices: there are many advantages in using integrated devices due to their small dimensions, the intrinsic stability and the potential scalability. Optical waveguides are the basic elements of photonic integrated devices. In this context, the integrated version of the bulk beam splitter is represented by two waveguides arranged in the geometry of a *directional coupler* (DC) whose scheme is depicted in fig. 1c. Provided that the two waveguides are sufficiently close to each other, their fields overlap, hence light can be coupled from one waveguide to the other and the optical power can be transferred between them in a periodic way with light "jumping" back and forth between the two waveguides. This mechanism achieves BS-like operations in integrated photonics and the reflectivity of the integrated BS depends on the length of the interaction region.

Among the various techniques adopted for realizing integrated photonic devices, the use of ultrashort laser pulses for direct writing photonic structures within a glass or a crystal [6] presents peculiar features, in particular:

1. The capability of realizing complex optical circuits in the three dimensions of space;
2. A rapid device prototyping, with the device pattern easily varied by a simple software control;
3. Simpler and less expensive production plants.

We focus on the femtosecond micromachining of bulk transparent materials – *i.e.* materials with no linear absorption at the laser wavelength. When a femtosecond laser pulse is tightly focused within a transparent material energy is deposited in a small volume around the focus due to a combination of multiphoton absorption and avalanche ionization. The glass substrate can be translated along or perpendicular to the beam propagation direction in such a way that waveguides are directly written within the substrate (fig. 1d). In suitable experimental conditions, by taking advantage of its 3-dimensional capability, the ultrafast laser writing technique allows to realize polarization-independent directional couplers, able to transport photons without altering their polarization state. This important feature has been exploited by using polarization-entangled photon states, as described in the following.

4 Entangled photon states within a directional coupler

As a first element for quantum simulation with integrated optics, we used a simple symmetric directional coupler and verified the predicted behavior occurring with polarization-entangled photon pairs.

Ultrafast laser written beam splitters (ULWBS) were

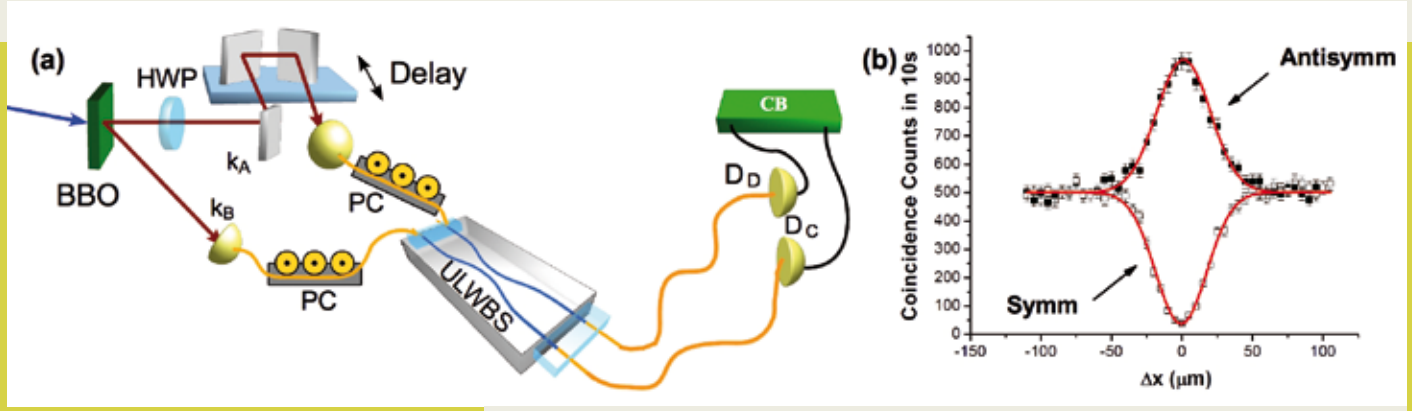


Fig. 2 (a) Setup for two-photon bosonic coalescence on the ultrafast laser written beam splitter: polarization-entangled photon pairs are generated in a β-barium borate (BBO) crystal. A delay line is inserted in one of the two photon paths to vary the temporal delay between the photons. A half waveplate (HWP) allows to switch from symmetric to antisymmetric entanglement. Pairs are delivered through single-mode fibers to the ULWBS and polarization controllers (PC) compensate the rotations induced by the fibers. The outcoming light is detected (D) and coincidences between photons are collected (CB) [8]. (b) Coincidences counts *vs.* photon delay: depending on the input state symmetry we observe a dip or a peak of measured coincidences at zero delay.

fabricated at CNR-Politecnico di Milano with the directional coupler geometry, as shown in fig. 1c. We exploited this device to observe the HOM effect with polarization-entangled states. To this purpose we adopted the experimental setup shown in fig. 2a: polarization-entangled states generated by SPDC [7] were delivered to the ULWBS through single-mode fibers. Photons emerging from the two outputs were revealed by two single-photon counting detectors and detection coincidences between them were recorded. By varying the temporal delay between the two photons arriving at the ULWBS, it is possible to observe the transition from the classical to the quantum behavior, occurring when photons arrive simultaneously. We recorded coincidences between detectors A and B for different temporal delays by injecting both symmetric and antisymmetric entangled states. The results are shown in fig. 2b: when a symmetric state enters the DC, photons emerge always from the same output, thus coincidences between the two detectors vanish for perfect temporal matching, while for an antisymmetric state, photons exit the ULWBS always from different outputs, thus we observe an enhancement in the coincidence counts.

The measured visibility, defined as $V = \left| \frac{C_0 - C_{int}}{C_0} \right|$ where C_0 and C_{int} correspond, respectively, to the coincidence rate outside interference (*i.e.* with spatial delay larger than the photon coherence length) and inside interference (zero spatial delay). The measured visibility is $V_{sym} = 0.929 \pm 0.005$ for symmetric entangled pairs, while it is $V_{ant} = 0.930 \pm 0.005$ in the case of the antisymmetric input state. These results demonstrate the capability of the ULWBS to support the polarization of photons, thus opening the way towards the use of integrated photonics for polarization-encoded qubits [8].

5 Quantum simulation by quantum walks

One of the most promising approaches for quantum simulation tasks is represented by quantum walks (QWs). Quantum walk is an extension of the classical random walk, performed by a walker on a lattice "jumping" between different sites with a given probability. Let us consider a quantum particle – such as an electron, an atom or a photon – on a lattice. As expected the quantum properties of the walker will affect its dynamics. In particular, the peculiar features of the quantum walker, represented by interference and superposition, lead to a non-classical dynamic evolution.

Among the various experimental platforms adopted to implement quantum walks, the optical approach requires single-photon states, beam splitters, phase shifters and single-photon detectors. Let us consider a symmetric discrete walk on a line. Here, each site of the lattice may be implemented by an optical beam splitter (represented by the white boxes in fig. 3a). A photon arriving on one port of the BS is reflected or transmitted with probability $p = 1/2$, thus the walker moves one step right or left along the lattice. A N-step QW may be realized by arranging the BS lines in a cascaded configuration, where each vertical line of beam splitters (fig. 3a) represents a step of the quantum walk.

Once the reflectivity of each BS and the initial position of the walker are given, it is easy to calculate the probability of finding the walker at site j after N steps. The final probability distribution will arise from the interference between all the possible paths the photon may follow along the QW circuit and, at variance with the classical case, where the expected output distribution has its maximum at the central output modes, photons tend to reach the external

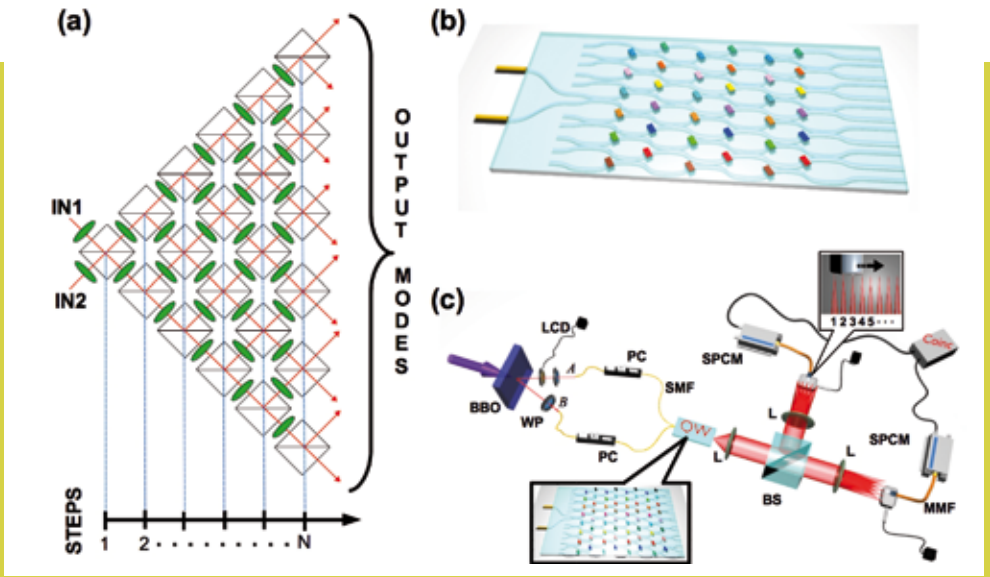


Fig. 3 (a) Photonic implementation of Quantum Walk (QW): an array of cascaded BS (white boxes) and phase shifters (green ovals). (b) Integrated waveguide structure of a QW circuit realized by femtosecond laser writing on a glass. Coloured boxes represent phase shifters. (c) Setup for two-particle QW measurements: polarization entangled photon pairs are generated by spontaneous parametric down-conversion and delivered to the integrated QW circuit (lower inset). The output of the chip is magnified by a set of lenses (L) and divided by a bulk BS. Photons emerging from each output of the QW are detected (upper inset) and coincidences between photons are recorded (Coinc) [10].

sites of the lattice. In such a scenario we may also ask what happens when the walker travels along a QW in the presence of disorder. By introducing disorder, multipath interference is indeed altered and the final distribution will result completely modified depending on the disorder configuration. One might guess that disorder destroys the "quantumness" of the walk, however, surprisingly, this is not the case. Indeed, as predicted by Anderson [9], transport in a medium, in the presence of a position-dependent disorder, leads to a localization of the walker wave function: in this case the particle tends to remain localized instead of wandering along the lattice.

6 Photonic implementation of quantum walks

The QW network depicted in fig. 3a is given by an array of Mach-Zehnder (MZ) interferometers, each one representing the elementary mesh of the network. It is worth stressing that an efficient realization of the BS network is practically impossible to achieve with standard bulk optical components, even for a small number of steps, since it requires a quadratically growing number of elements. Furthermore, a correct operation of the quantum walk strongly requires a controlled and stable phase in each lattice unit mesh. Our approach exploits an integrated waveguide architecture, which allows to concentrate a large number of optical elements within a small chip and to achieve intrinsic phase stability due to its monolithic structure. As said, in our waveguide implementation BSs are replaced by directional couplers realized by the femtosecond laser writing technique. The integrated version of the scheme reported in fig. 3b was given by an array of polarization-independent directional couplers. QW structures of 4, 6 and 8 steps were realized, with each phase of the MZ unit set to zero, enabling in this way a perfect and stable matching of the entire network.

In this context, disorder can be added in the QW evolution by simply introducing (randomly selected) phase shifts (green ovals in fig. 3a) within each MZ unit. Indeed the introduction of a random phase shift corresponds to change the probability for the walker to go left or right at each step. In particular, the time-independent disorder needed to enforce Anderson localization on the photonic walker is obtained in the case of a so-called *static* disorder, *i.e.* by keeping constant the phases for all the MZs corresponding to the same lattice site.

In the experiment each phase shift was obtained during the LW process by slightly lengthening one of the optical path in each MZ interferometer enabled by nanometrical control of the writing process. The experimental investigation of these complex interference effects is enabled by the perfect phase stability provided by miniaturized integrated waveguide circuits. We thus simulated transport in the presence or absence of disorder by using photons travelling along QW circuits realized with the femtosecond laser writing technique, while the entanglement in the polarization degree of freedom, which is not affected by the circuit, was exploited to simulate bosonic and fermionic statistics [10, 11].

7 Quantum walks in ordered structures

The circuit shown in fig. 3b was adopted to implement a discrete one-dimension quantum walk for entangled particles. To carry out and characterize the different quantum walks, we adopted the experimental setup shown in fig. 3c. We prepared polarization entangled two-photon states with symmetric and antisymmetric entanglement and injected them into the integrated QW. Then we measured the coincidences between

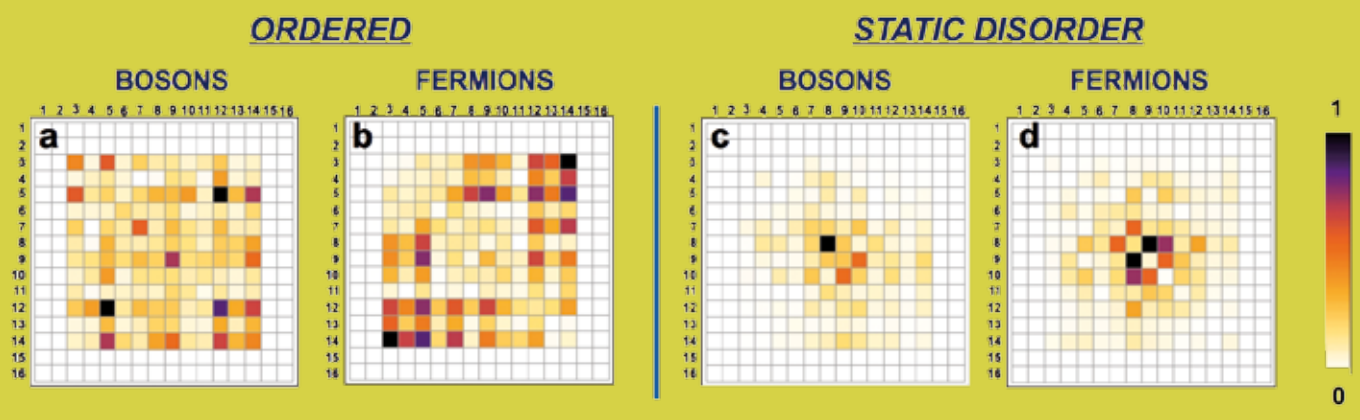


Fig. 4 Bosonic (a, c) and fermionic (b, d) two-particle probability distributions measured on a 8-step QW with ordered structure (a, b) and in the presence of static disorder (c, d) [11]. Each distribution is normalized to its maximum.

all the different outputs, obtaining the corresponding two-particle probability distribution. In figs. 4 a, b we report as an example the bosonic and fermionic distributions for a 8-step QW [10]. It is easy to observe that the distributions spread in the lattice, moreover bosonic and fermionic QWs present a deep difference: due to Pauli exclusion principle, fermions never emerge from the same output mode, thus the diagonal elements of fermionic distributions are vanishing, while, because of the boson bunching effect, non-zero contributions on the principal diagonal are obtained. The diagonal elements of fig. 4b are not perfectly vanishing because of residual imperfections of the glass chip.

8 Quantum walks in the presence of disorder

We experimentally studied the localization properties of a pair of non-interacting particles obeying bosonic/fermionic statistics by simulating a one-dimensional QW of a two-photon polarization-entangled state in a disordered medium. In this case one-dimensional static-disordered QWs were implemented by setting suitable phase maps within the optical lattice.

The same measurements described in the previous section were performed and the two-particle experimental distributions are reported in figs. 4 c, d for a 8-step QW [11]. We observe in this case an evident localization of the wave function, because of the larger probability occurring in the central sites, while it is very low in the external sites of the lattice. We may still observe a difference between bosons and fermions. Since fermions can not emerge from the same site they arrange in the nearest-neighboring sites obeying Pauli exclusion principle, while bosons localize on a single peak on the diagonal.

9 Multiport beam spitters

The possibility of achieving interference of more than two particles on a beam splitter is a further challenging task [12, 13] which could open the door to the observation of quantum phenomena in increasing-size systems and to the engineering of quantum states for QI processing. Multiport beam splitters are a key ingredient to achieve these purposes: they have been proposed to perform additional classes of possible non-locality experiments in a Hilbert space with dimension $d > 2$. Moreover, the applications to quantum interferometry of three- and four-port beam splitters have been theoretically investigated, and the quantum enhancement in terms of sensitivity has been predicted [14]. The behaviour of N photons impinging onto the N-port beam splitter can be studied by a statistical approach, since the complexity of this problem grows faster than exponentially with growing N.

10 Experimental interference of three photons in a tritter

The three-beam extension of a beam splitter, the so-called "tritter" was first addressed in ref. [15] and its proposed implementation consisted in a set of conventional beam splitters and phase shifters (fig. 5a). We realized the first experimental investigation of 3-photon interference in an integrated tritter, realized by femtosecond laser waveguide writing [16] (fig. 5b).

Because of bosonic coalescence, when the tritter is injected by three indistinguishable photons entering the three input ports, all the terms of two photons exiting from the same output port disappear (fig. 5c). In order to fully describe the three-photon interference, we need to introduce two

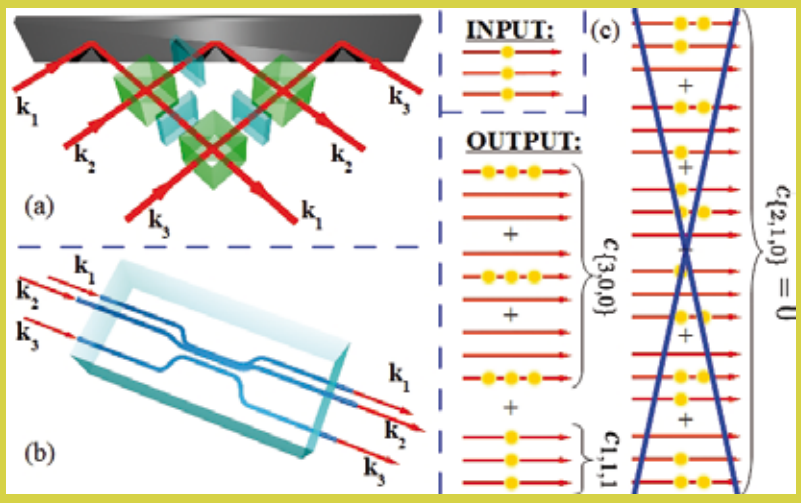


Fig. 5 (a) Optical scheme for a three-mode splitter obtained by a set of conventional beam splitters (grey cubes) and phase shifters (green plates), where $\mathbf{k}_i$, with $i = 1,2,3$ represent input-output spatial modes. (b) Integrated 3-dimensional scheme for a laser-written tritter. (c) Three-photon bosonic coalescence effect in a tritter when each photon is injected into a different input spatial mode. In ideal conditions all the terms with two photons exiting on the same output port vanish due to bosonic coalescence [16].

relative delays between the three particles. We theoretically calculated the probability of the different output states [(1,1,1), (2,1,0), (3,0,0)] as a function of the relative delays $x_m = c\tau_m$ ($m = 1, 2$) between the three photons. These probabilities are represented in figs. 6a-c as surfaces in a 3-dimensional space and represent an extension of the well-known HOM curves. This representation enables a deeper insight into three-photon interference, evidencing non-trivial features as a function of the two delays. In particular, we observe the presence of three regions: i) the three input photons are indistinguishable, this leads to a three-photon coalescence effect, resulting in a dip or a peak depending on the detected output state; ii) only two of the three input photons are indistinguishable; iii) the three input photons are distinguishable, leading to classically correlated outcomes.

The particles, each coupled to a different waveguide, mutually interfere in the three-arm directional coupler by evanescent field interaction. The behaviour of a three-photon state entering the tritter was investigated by comparing the output state probabilities with the expected classical ones, evidencing the purely quantum effects involved in bosonic coalescence.

The three-photon coalescence was tested by adopting the experimental setup shown in fig. 7, using four photons created by two SPDC processes: one of them was acting as the trigger for coincidence detection, while the other three photons were coupled inside the tritter, after passing through different delay lines. The output modes were detected by using optical fiber beam splitters and single-photon counting detectors. Coincidences between different detectors were used to reconstruct, by post selection, the probability of obtaining a given output state. By changing the relative delays between the three photons we could observe the coalescence effects in the different experimental conditions, as shown in fig. 8. Precisely, with a three-photon state injected in the three input ports, we measured the different output contributions, $|1,1,1\rangle$, $|2,1,0\rangle$, $|3,0,0\rangle$.

Due to a partial distinguishability between photons belonging to different pairs, the expected interference visibilities change depending on which photon is delayed. Figure 8 shows the experimental and theoretical output states probabilities, obtained by delaying photons in different input modes for each measured output state. Three-photon interference is reported when delaying the

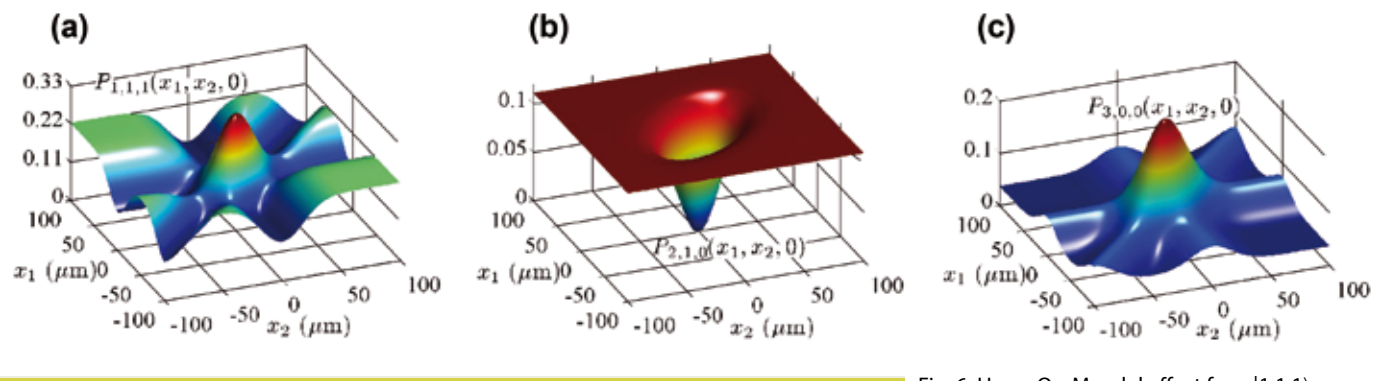


Fig. 6 Hong-Ou-Mandel effect for a $|1,1,1\rangle$ input state in an ideal tritter. Theoretical output probabilities $P_{1,1,1}$ (a), $P_{2,1,0}$ (b), and $P_{3,0,0}$ (c) as a function of the delays $x_i = c\tau_i$ of the impinging photons [16].

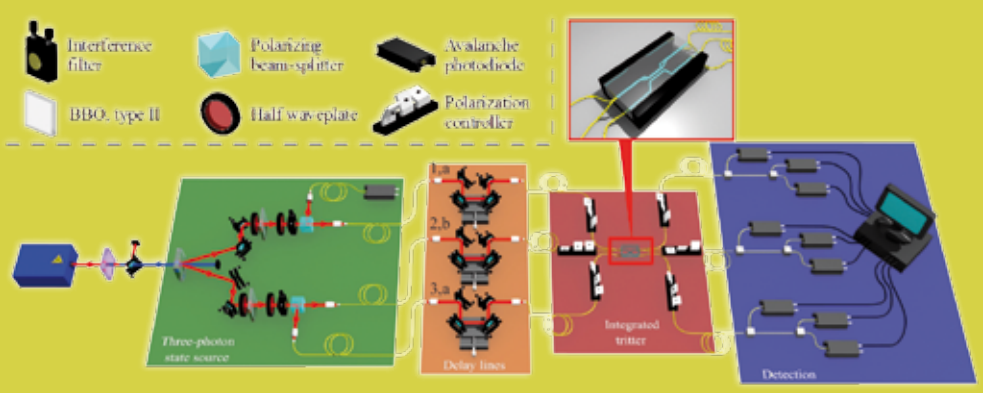


Fig. 7 Experimental setup for the characterization of the tritter and the three-photon coalescence experiment. Two-photon and three-photon states, generated by SPDC, are injected in the tritter device after the propagation through spatial delay lines. Then, coincidence detection at the output ports is performed to reconstruct the probability of obtaining a given output state realization (i, j, k). Labels 1, 2, 3 stand for spatial modes, while letter *a* refers to indistinguishable photons and *b* to the partially distinguishable one. BBO represents β-barium borate crystal [16].

partially distinguishable photon (case A in the figure) or when delaying one of the two indistinguishable ones (case B in the figure). In addition, we also considered the case when the partially distinguishable photon was kept out of the interference region and properly delaying the two indistinguishable ones (case C in the figure). The latter case corresponds to the standard two-photon interference. It is observed that cases A and B are clearly different from case C. This demonstrates that the output states that we observe in cases A and B are indeed due to three-photon interference and cannot be attributed to two-photon interaction. By comparing the obtained visibilities with the classical bounds, calculated by injecting the tritter with three equal-amplitude coherent states with randomized phases, we found that the results obtained with the input state outperform classical predictions, thus demonstrating the quantum origin of the measured three-photon interference.

Multiport directional couplers, as the symmetric tritter, have the potential to become fundamental elements for future complex networks implemented by integrated optical circuits. Indeed, these devices may find a wide range of applications in both quantum interferometry and quantum metrology. Recent theoretical analysis indicate that they can be exploited to build *N*-mode interferometers where the adoption of quantum input states can lead to a significant enhancement in phase estimation protocols. Furthermore, the capability of conditionally generating path-entangled states may be increased by adopting structures composed of *N*-port beam splitters rather than conventional two-mode couplers. Several other contexts may benefit from the adoption of *N*-port beam splitters. For instance, they can be adopted for the realization of "proof-of-principle" quantum simulators, and, combined in a modular structure, they can be used to realize full-scale quantum simulators for large size quantum systems.

11 The problem of BosonSampling

The fascinating, long-term goal of a quantum computer promises a large computational advantage in solving problems which are otherwise intractable with classical computers [3]. However, despite the strong experimental effort and the recent advances in the quantum information field, the realization of a large-scale quantum computer is still far from the current state of the art. It is then crucial to identify possible intermediate steps showing an evidence of the computational advantage of quantum systems. This includes for instance systems whose evolution cannot be predicted with classical computers, but with a reduced number of resources with respect to a large-scale quantum computer.

Recently, it has been shown by Aaronson and Arkhipov [17] that bosonic particles and linear unitary transformations are a promising candidate for an intermediate milestone showing the potential of quantum systems. Indeed, the evolution of a system of bosons undergoing arbitrary linear unitary transformations, a task known as BosonSampling (fig. 9a), rapidly becomes hard to predict using classical computers as we increase the number of particles and modes. The hardness of the task derives from the relationship between the

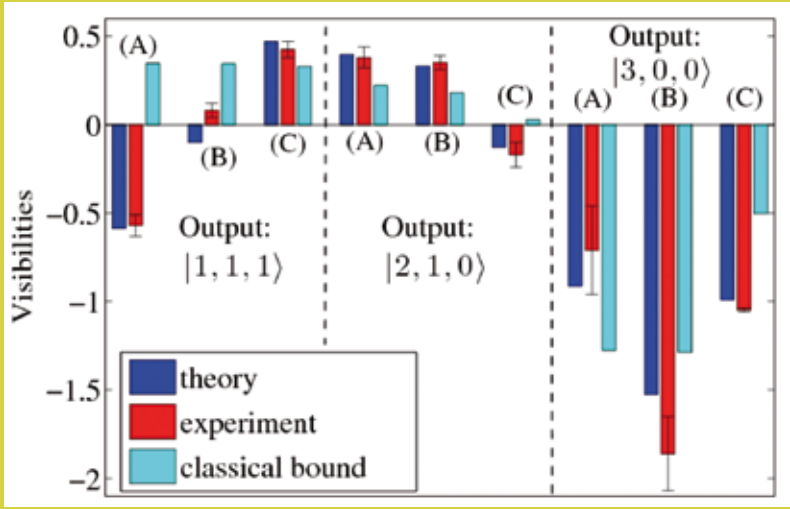


Fig. 8 Visibility measured for different choices of the delayed photon and of the measured output state contribution. Case A: distinguishable photon on input port 2 delayed (three-photon interference). Case B: identical photon on input port 3 delayed (three-photon interference). Case C: distinguishable photon on input port 2 out of the interference region and identical photon on input port 3 delayed (two-photon interference). Blue bars: theoretical prediction obtained from the reconstructed tritter matrix and partially distinguishable photon pairs. Red bars: experimental results. Cyan bars: expected visibilities with classical states. Error bars are due to Poissonian statistics of the measured signal [16].

transition amplitudes of the process and the permanent of square matrices. Aaronson and Arkhipov estimated [17] that a system of approximately 20 particles in a linear network of 400 modes would take a sufficiently long time to be predicted with a classical computer. This behavior of bosonic particles, such as photons, is in contrast with the fermionic case, whose evolution can be easily calculated with a classical computer because of the relationship existing in this case between the transition amplitudes of the process and the determinant of the corresponding matrix.

A natural platform to solve the BosonSampling is provided by photons evolving through linear optical interferometers. This suggests a feasible experiment to demonstrate the computational capabilities of quantum systems, consisting essentially of observing the multi-photon interference of Fock states in a sufficiently large multimode linear optical interferometer. This theoretical result, combined with recent developments in the field of integrated photonics, motivated a strong experimental effort in this direction to obtain the first demonstration of small instance of the BosonSampling problem. This has lead recently to four simultaneous parallel experiments reported by different international collaborations [18-21].

A generic *m*-mode interferometer, described by an arbitrary unitary matrix, can be in principle implemented by using only standard passive linear optical elements. More specifically, it consists of a network of directional couplers with different transmittivities (in the range [0,1]) and intermediate phase-shifters (in the range [0,π]). The architecture for the case $m = 5$ is shown in fig. 9b. As shown in previous sections, the fabrication of such structures may be provided by adopting integrated femtosecond laser-written waveguides. In the present implementation of the BosonSampling problem we considered the realization of a randomly chosen interferometer. Indeed, for specific choices of the system under investigation, symmetry arguments can be exploited to reduce the computational complexity of the network. In order to implement any possible unitary transformation, it is necessary to build integrated interferometers with independent control of both beam splitter transmittivities and phase shifters, as shown in fig. 9c. As already seen, phase shifters are implemented by deforming the waveguides at the input of each directional coupler in order to modify the optical path. The 3-dimensional capabilities of femtosecond laser-writing were exploited to modify the beam splitter transmittivities without changing the path lengths (and hence without introducing additional undesired phases). This is achieved by rotating one arm of the directional coupler out of the main circuit plane, thus modifying the transmission between paths.

In the experiment we generated three single photons by two simultaneous SPDC photon pair processes and injected them in the *m*-mode interferometer (fig. 10a), then we proceeded as follows. First, we picked randomly a 5-mode interferometer, evaluated the values of fabrication parameters (beam splitters and phase shifters), and then realized the corresponding integrated device. It is then crucial to check that the actual device resembles closely the desired interferometer. To this end, we performed a tomographic characterization of the unitary matrix which describes the action of the device without assuming any *a priori* knowledge of the system. This task can be achieved

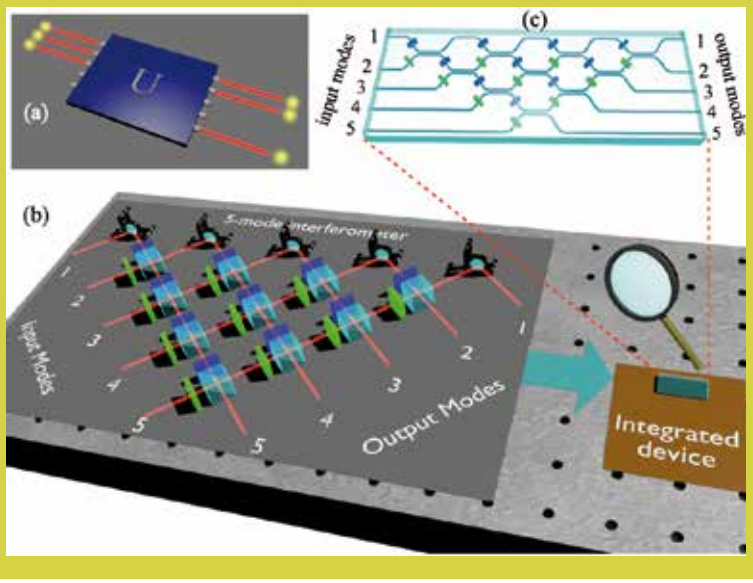


Fig. 9 (a) The concept of BosonSampling: the distribution of *m* bosons is reconstructed after evolution through a linear transformation. (b) Architecture for an arbitrary 5-mode interferometer, composed by beam splitters (cyan cubes) and phase shifters (blue and green boxes). (c) Corresponding architecture for an arbitrary integrated 5-mode device.

by probing the device with both single-photon and two-photon states. More specifically, we measured the probability that a single photon injected in input port *i* exits from output port *k*. Conversely, the two-photon measurements were done by simultaneously injecting two single photons on all ten combinations of two different input modes (*i, j*). Then, for each input state, we measured all possible HOM interference patterns on output ports (*k, l*) by introducing a time delay between the two photons. This set of measurements corresponds to 25 single-photon probabilities and 100 two-photon interference experiments, and is sufficient to fully reconstruct the action of the implemented interferometer.

The results of the single-photon and of the two-photon measurements are shown in figs. 10 b, c and compared with the corresponding predictions obtained from the reconstructed unitary matrix. The agreement between two distributions p_k and q_k is quantified by the distance $d = 1/2\sum_k |p_k - q_k|$, which ranges in the interval [0, 1] where the 0 value is obtained when the two distributions are identical. The average distance between the predictions of the reconstructed matrix and the experimental data, averaged over the values corresponding to all the different inputs, is $d^1_{exp'r} = 0.065 \pm 0.003$ (single photon experiments) and $d^2_{exp'r} = 0.103 \pm 0.013$ (two-photon experiments), which indicates a good quality in the characterization process. The quality of the fabrication process is confirmed by the distance between the experimental data and the predictions of the ideal matrix, given by $d^1_{exp't} = 0.158 \pm 0.003$ and $d^2_{exp't} = 0.221 \pm 0.013$. This small distance provides a confirmation of the proper functioning of the device.

The second step corresponds to testing multimode interference in the multiphoton regime. More specifically, we injected the three photons in the input ports (1,3,5), and we measured the probability ratios of how the three photons distribute among the different output ports. We then compared the measured results with the predictions obtained by calculating with the permanent formula the output distribution expected from the reconstructed unitary matrix. The results of the three-photon measurements are shown in fig. 10d. A good agreement between the predicted distributions and our experimental results is obtained, as quantified by the distance between these two distributions $d^3_{exp'rt} = 0.105 \pm 0.024$. These results provide an experimental confirmation of the permanent formula in the three-photon, five-mode regime.

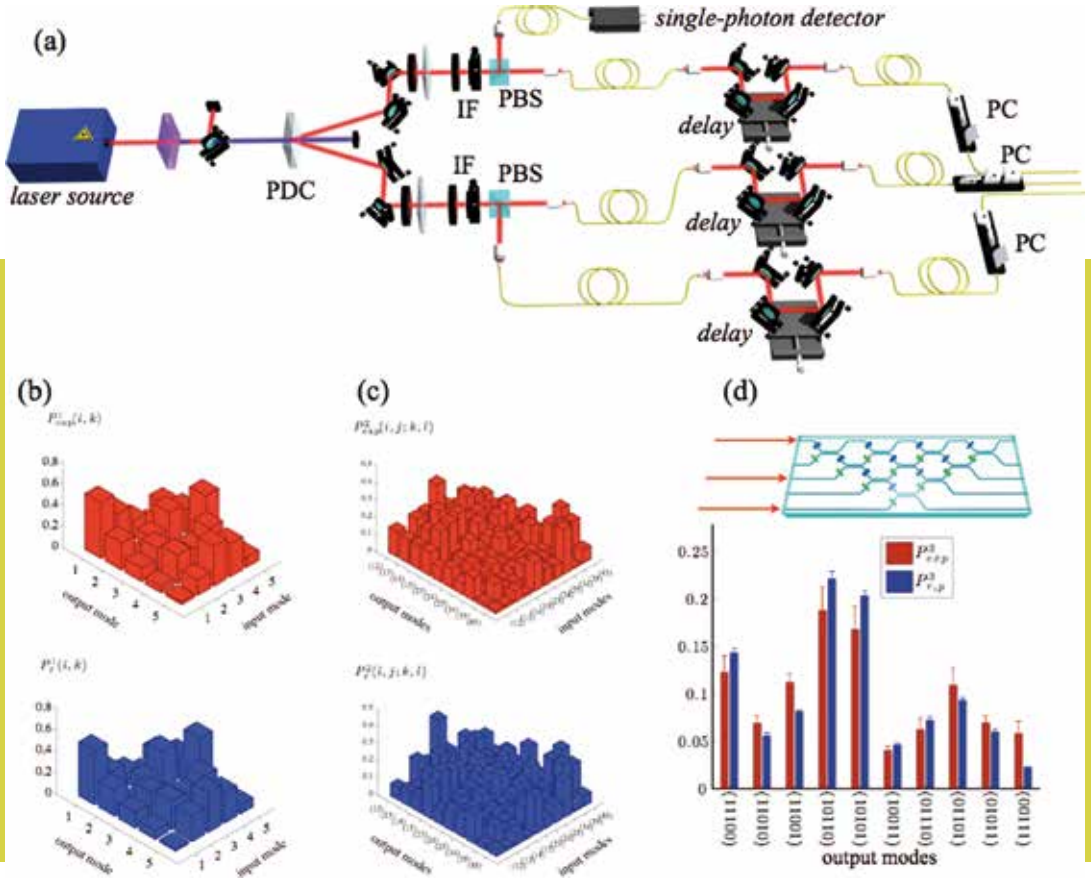


Fig. 10 (a) Experimental setup for the generation of single-, two- and three-photon states. Photons are generated through the process of parametric down-conversion (PDC). After spectral selection by interference filters (IF), polarization selection through polarizing beam splitters (PBS), coupling into single-mode fibers and polarization compensation (PC), they are injected in the integrated interferometer. (b) Single-photon, (c) two-photon and (d) three-photon measurements (red bars) compared with the predictions obtained with the permanent formula from the reconstructed unitary matrix (blue bars) [21].

12 Conclusions

Quantum information science has found great experimental success with the implementation of quantum photon states. To date, however, the majority of quantum optical experiments use large-scale (bulk) optical elements bolted down to an optical bench; an approach that ultimately limits the complexity and stability of quantum circuits required for quantum science and technology. The realization of complex optical schemes consisting of a large number of elements requires the introduction of waveguide technology to achieve the desired scalability, stability and miniaturization of the device. Integrated waveguide photonic devices are expected to have a large impact in photonic quantum technologies and to achieve a level of complexity larger than what previously demonstrated. Fast reconfigurable waveguide circuits will enable the realization of a variety of integration demonstrators with applications in different scientific and technological areas.

In this paper we have presented some recent experiments carried out with integrated photonic quantum circuits realized within the bulk of glasses by the ultrafast laser writing technique. The capability of this technique to design 3-dimensional circuits in a chip has been exploited to realize complex optical systems and interferometric arrays of beam splitters showing accurate phase and balancement control. The quantum simulation of paradigmatic physical effects in a single chip has been demonstrated. Important perspectives are envisaged towards the future realization of even more complex quantum processors able to overcome the classical boundary for specific classes of problems.

Acknowledgements

The experiments described in this paper have been supported by FIRB-Futuro in Ricerca HYTEQ (Hybrid technologies for quantum information processing), PRIN 2009 (Progetti di Ricerca di Interesse Nazionale 2009), the ERC-Starting Grant 3D-QUEST (3D-Quantum Integrated Optical Simulation; grant agreement no. 307783): `http://www.3dquest.eu.`, QWAD (Quantum Waveguides Applications & Developments), EU-Project CHISTERA-QUASAR (Quantum State Analysis and Realization).

References

[1] R. P. Feynman, *Int. J. Theor. Phys*., 21 (1982) 467.
[2] A. Politi, M. J. Cryan, J. G. Rarity, S. Yu and J. L. O'Brien, *Science*, 320 (2008) 646.
[3] A. Politi, J. C. F. Matthews and J. L. O'Brien, *Science,* 325 (2009) 1221.
[4] A. Crespi, R. Ramponi, R. Osellame, L. Sansoni, I. Bongioanni, F. Sciarrino, G. Vallone and P. Mataloni, *Nat. Commun.,* 2 (2011) 566.
[5] C. K. Hong, Z. Ou and L. Mandel, *Phys. Rev. Lett.,* 59 (1987) 2044.
[6] G. Della Valle, R. Osellame and P. Laporta, J. *Opt. A: Pure Appl. Opt*., 11 (2009) 013001.
[7] P. Kwiat *et al*., *Phys. Rev. Lett.,* 75 (1995) 4337.
[8] L. Sansoni, F. Sciarrino, G. Vallone, P. Mataloni, A. Crespi, R. Ramponi and R. Osellame, *Phys. Rev. Lett*., 105 (2010) 200503.
[9] P. Anderson, *Phys. Rev.*, 109 (1958) 1492.
[10] L. Sansoni, F. Sciarrino, G. Vallone, P. Mataloni, A. Crespi, R. Ramponi and R. Osellame, *Phys. Rev. Lett*., 108 (2012) 010502.
[11] A. Crespi, R. Osellame, R. Ramponi, V. Giovannetti, R. Fazio, L. Sansoni, F. De Nicola, F. Sciarrino and P. Mataloni, *Nat. Photon.*, 7 (2013) 322.
[12] D. M. Greenberger, M. A. Horne and A. Zeilinger, *Phys. Today,* 46, no. 8 (1993) 22.
[13] M. Zukowski, A. Zeilinger and M. A. Horne, *Phys. Rev. A,* 55 (1997) 2564.
[14] N. Spagnolo, L. Aparo, C. Vitelli, A. Crespi, R. Ramponi, R. Osellame, P. Mataloni and F. Sciarrino, *Sci. Rep.,* 2 (2012) 862.
[15] R. A. Campos, *Phys. Rev*., A 62 (2000) 013809.
[16] N. Spagnolo, C. Vitelli, L. Aparo, P. Mataloni, F. Sciarrino, A. Crespi, R. Ramponi and R. Osellame, *Nat. Commun*., 4 (2013) 1606.
[17] S. Aaronson and A. Arkhipov, in *Proceedings of the 43rd Annual ACM Symposium on Theory of Computing* (*ACM Press*) (2011) 333.
[18] M. A. Broome, A. Fedrizzi, S. Rahimi-Keshari, J. Dove, S. Aaronson, T. C. Ralph and A. G. White, *Science* 339 (2012) 794.
[19] J. B. Spring, B. J. Metcalf, P. C. Humphreys, W. S. Kolthammer, X.-M. Jin, M. Barbieri, A. Datta, N. Thomas-Peter, N. K. Langford, D. Kundys, J. C. Gates, B. J. Smith, P. G. R. Smith and I. A. Walmsley, *Science*, 339 (2012) 798.
[20] M. Tillmann, B. Dakić, R. Heilmann, S. Nolte, A. Szameit and P. Walther, *Nat. Photon.*, 7 (2013) 540.
[21] A. Crespi, R. Osellame, R. Ramponi, D. J. Brod, E. F. Galvão, N. Spagnolo, C. Vitelli, E. Maiorino, P. Mataloni and F. Sciarrino, *Nat. Photon.,* 7 (2013) 545.

Paolo Mataloni

Paolo Mataloni is Full Professor at Sapienza Università di Roma where he teaches Optics and Laboratory, and Nonlinear and Quantum Optics. During his career he has worked on the study of phenomena related to the electromagnetic field confinement, such as spontaneous and stimulated emission and superradiance within planar optical microcavities and microlasers. In the last 10 years he has carried out a number of experiments of Quantum Information, dealing with the generation of entangled photon states by spontaneous parametric down-conversion, detection and characterization of entanglement, creation of generalized mixed entangled photon states with tunable mixing parameter, quantum non-locality, besides multiqubit hyperentangled and cluster photon states and their application for quantum computation. More recently he has performed experiments dealing with integrated waveguide photonic systems opening novel perspectives for the experimental simulation of quantum physical processes.

SEMICONDUCTOR NANODEVICES: FACING THE FASCINATING WORLD OF QUANTUM MECHANICS

RITA CLAUDIA IOTTI, FAUSTO ROSSI
Department of Applied Science and Technology, Politecnico di Torino, Torino, Italy

The rapidly developing field of semiconductor-based nanomaterials and nanodevices unveils the intimate link between low-dimensional solid-state physics and fundamental quantum mechanics. The key tools of electronic quantum confinement and tunnel coupling are concepts that may be expressed and derived in terms of the corresponding Schrödinger equation. However, the interplay between carrier coherence and energy dissipation/decoherence in realistic electronic and optoelectronic nanodevices is highly non-trivial; the conventional theoretical treatments show up intrinsic limitations which are intimately related to the arbitrary separation between classical and quantum world, *i.e.*, to the so-called measurement problem.

In the last few decades modern semiconductor technology has opened the way to the massive fabrication of the so-called semiconductor heterostructures [1], obtained by properly combining different semiconductor materials within the same growth process. The typical space-scale of the constituent materials may vary from the micrometer down to the nanometer. In the latter case, such heterostructures – also referred to as semiconductor nanostructures [2] – may display genuine quantum-mechanical effects [3] due to the spatial carrier confinement induced by electronic-band mismatch at the various, atomically abrupt, semiconductor interfaces. Such quantum-confinement regime, combined with an extreme control of layer thicknesses and compositions, constitutes the basic ingredient for the realization of a wide variety of semiconductor-based quantum nanodevices [2, 4].

The specific geometry of the nanostructure under investigation, *i.e.*, number and spatial orientation of the various material interfaces, gives rise to a corresponding carrier confinement potential profile [3], thus determining the so-called "dimensionality" of our nanostructure. More specifically, the latter is usually defined as the number D of interface-free directions ($0 \leq D \leq 3$), also referred to as the potential-free subspace. The simplest example of low-dimensional nanostructure is the so-called type-I semiconductor quantum well ($D = 2$) [3], in which the misalignment between the valence and conduction bands of the constituent materials mimics a textbook square-well potential profile along the growth direction.

Thanks to the impressive and continuous progress in epitaxial-growth nanotechnology, in addition to quantum wells, over the last two decades it has been possible to fabricate state-of-the-art nanostructures of lower dimensionality, namely quantum wires ($D = 1$) and quantum dots ($D = 0$). While for quantum wells and wires one deals with a residual free-motion subspace, the size reduction of a coherently grown semiconductor cluster down to a value below the carrier de Broglie wavelength, in all the three space directions, leads to complete quantization/discretization of its electronic energy levels. The resulting quantum dots are more similar to giant atoms in a dielectric cage than to conventional solid-state systems (showing a dispersion of energy as a function of wave vector); their electronic and

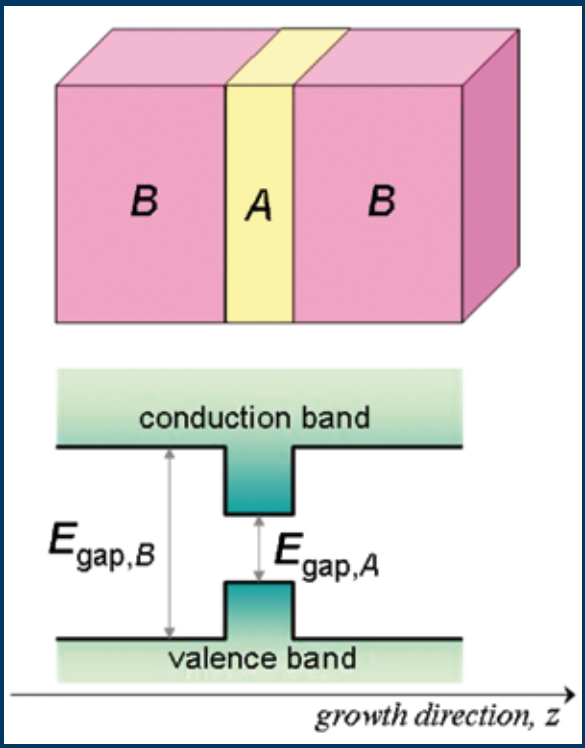


Fig. 1 To enlighten the fundamental concept of quantum confinement, let us consider the simplest example of low-dimensional nanostructure, called "type-I semiconductor quantum well" [3]. The latter corresponds to a nanometric slice of a small-gap material A (*e.g.*, GaAs) surrounded on both sides by a large-gap material B (*e.g.*, (Al, Ga) As). Due to the band-offset value at the two interfaces, on a macroscopic scale both conduction electrons and holes will experience an effective textbook square-well potential profile; the carrier motion – still bulk-like along the interface plane – will be spatially confined within the nanometric slice of material A. Since in this example the charge carriers are characterized by a two-dimensional free-motion subspace, such quantum-well nanostructures are also referred to as two-dimensional systems ($D = 2$).

optical properties strongly depend on their size and shape, and, by a careful design and geometry control during the growth process, absolutely novel and unique possibilities for man-made materials and innovative quantum devices are opened [5].

From the theoretical point of view, due to the reduced crystal symmetry, the investigation of the electronic properties of semiconductor nanostructures is, in general, much more demanding, compared to conventional (*i.e.*, bulk) band structure calculations.

However, for low-dimensional structures characterized by confinement lengths larger than the bulk lattice constant, the problem may be greatly simplified by employing the well-known "envelope function approximation" [3, 4], a general spatial decoupling scheme introduced originally in the 1960's to study impurity as well as excitonic states in solids. Such envelope function picture introduces a great conceptual simplification in the study of the electron dynamics in semiconductor nanostructures: the latter may indeed be described in terms of an effective single-particle Schrödinger equation involving the heterostructure potential profile only. More specifically, for the case of a two-dimensional nanostructure like the one sketched in fig. 1, the corresponding (one-dimensional) effective Schrödinger equation is given by

$$(1) \qquad \frac{1}{i\hbar}\frac{\mathrm{d}\psi(z)}{\mathrm{d}t} = \left[-\frac{\hbar^2}{2m^*}\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}z^2} + V(z)\right]\psi(z)\,,$$

here, the effect/reminiscence of the original crystalline potential is contained in the electron (hole) effective mass m^* and $V(z)$ denotes the heterostructure conduction (valence) band-edge profile along the growth direction z.

The key requirement in the fabrication of high-quality nanostructures is the choice of the two (or more) constituent materials, since this will crucially influence the physical properties of the various semiconductor interfaces and thus the electro-optical response of the resulting low-dimensional nanomaterial. To this aim, a primary goal is to employ semiconductor materials with the same crystalline structure and very similar lattice parameters, and at the same time with significantly different values of the electronic energy gap. In this way, thanks to properly designed epitaxial-growth protocols, the resulting semiconductor interface – often referred to as heterojunction – maintains a regular cristalline structure and shows an abrupt, *i.e.*, discontinuous, electronic-band profile at the semiconductor interface, also referred to as "band offset".

For such ideal scenario – also referred to as "ideal-heterojunction limit" – the application of the envelope-function theory just recalled is straightforward. Indeed, by neglecting small differences in the bulk Bloch states of the constituent materials, the electronic properties of such an

ideal interface may be well described by the Schrödinger equation (1) corresponding to a step-like potential. The above approximation scheme may be easily extended to a many-interface nanostructure with arbitrary geometry, like semiconductor superlattices, quantum wires and quantum dots [4]. In this latter case, one deals with an effective three-dimensional confinement potential piecewise constant over the different material regions.

In addition to its technological impact, the possibility of realizing high-quality semiconductor nanostructures has offered a unique opportunity to study elementary-quantum-mechanics phenomena; indeed, within the envelope function framework, a semiconductor nanomaterial comes out to be an ideal arena for the experimental investigation of basic quantum processes, like, *e.g.*, phase coherence and tunneling phenomena.

On the one hand, properly tailored double-quantum-well structures combined with modern time-resolved optical spectroscopy [6] have allowed to investigate the coherent carrier dynamics (typically induced by an ultrafast laser excitation) with a sub-picosecond time resolution. Thanks to such ultrafast experiments it is possible to demonstrate the existence of the so-called energy-non-conserving transitions [4], a clear fingerprint of the well-known time-energy uncertainty principle of quantum mechanics (see fig. 2).

On the other hand, the fabrication of double-barrier structures has allowed to study quantum-transport phenomena in the so-called resonant-tunneling regime. The theoretical description of such transport experiment is however highly problematic [4] (see below), since it requires a consistent description of the (quantum) nanostructure under investigation as well as of its coupling to the (classical) external circuit.

It is worth stressing that for both classes of experiments just recalled – ultrafast coherent dynamics and quantum-transport phenomena – one is forced to face the central problem of quantum mechanics, the so-called "measurement problem". Indeed, trying to investigate the quantum-mechanical behaviour of a subsystem of interest, *e.g.*, the electron gas of our nanostructure, it is essential to identify a proper measurement procedure; the latter is conceptually described as the interaction between the quantum subsystem and a properly tailored classical measuring instrument. Already in the early days of quantum mechanics it has been recognized that the need for a classical measuring apparatus is by far its more severe limitation; as stated in the popular textbook by Lev D. Landau and Evgenij M. Lifshitz [7]: "quantum mechanics occupies a very unusual place among physical theories: it contains classical mechanics as a limiting case, yet at the same time it requires this limiting case for its own formulation". While for the case of ultrafast-optics experiments the separation between physical system

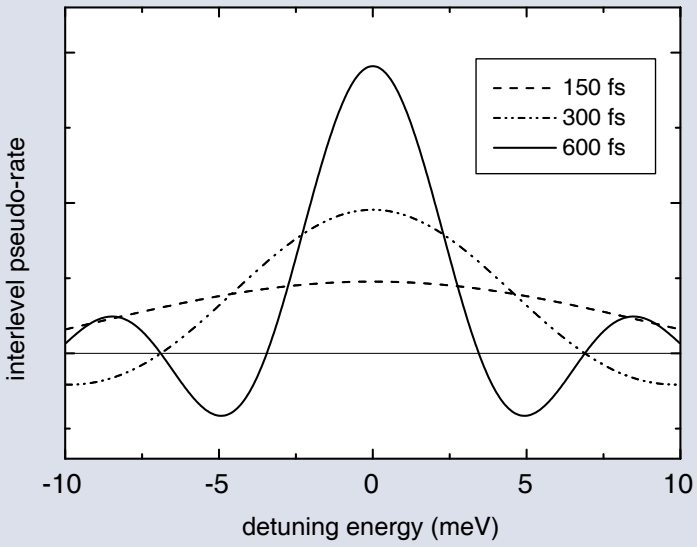


Fig. 2 Carrier photogeneration rate in a two-level system as a function of the detuning energy $\hbar\omega$ (*i.e.*, the difference between the photon energy and the interlevel splitting) at three different times: $t = 150$ fs, $t = 300$ fs, and $t = 600$ fs. This scenario clearly shows that at short times (after the state preparation) one deals with the so-called energy-nonconserving transitions, *i.e.*, transitions characterized by a non-zero detuning energy $\hbar\omega$: indeed, immediately after the state preparation ($t = 150$ fs) we deal with an extremely broad generation profile; for increasing values of time ($t = 300$ fs) we can see to the progressive formation of an energy-conserving resonance peak ($\hbar\omega = 0$) accompanied by negative tails; at longer times ($t = 600$ fs) we are left with a much sharper central peak surrounded by an oscillatory behaviour, which can be regarded as a precursor of the Dirac delta function obtained in the limit $t \to \infty$. Reprinted from [4]. From this carrier-generation dynamics it is easy to recognize the typical features of the time-energy uncertainty relation governing this quantum-mechanical interaction process: at very short times we deal with a significant uncertainty of our transition energy, which implies that immediately after the state preparation the electron may undergo interlevel transitions induced by non-resonant photons; for increasing values of time such energy–non-conserving transitions become less and less important, and in the long-time limit we deal with energy-conserving processes only. The presence of electron-phonon energy–non-conserving transitions in photoexcited semiconductors, originally pointed out by Carlo Jacoboni and co-workers [8], has been later experimentally demonstrated by Alfred Leitenstorfer and co-workers [9].

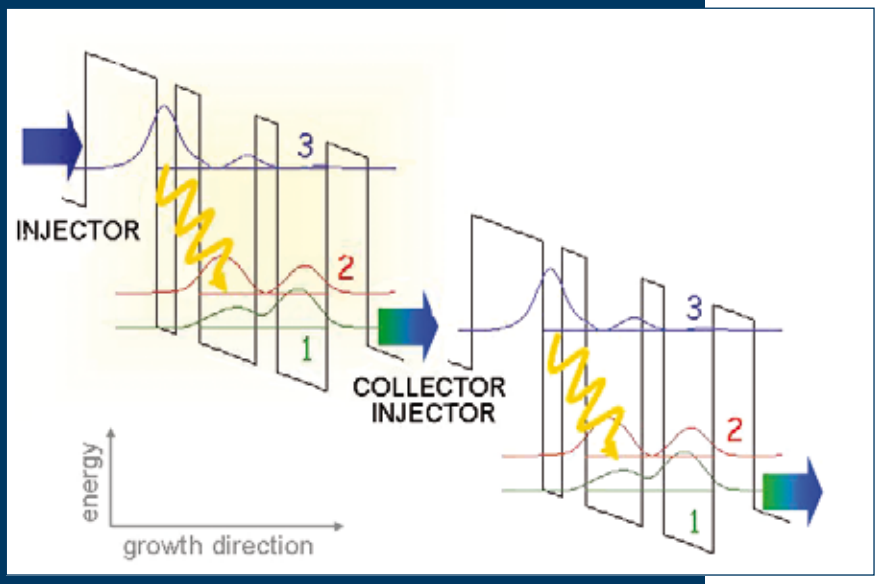


Fig. 3 Quantum-cascade lasers are complex nanodevices, whose core – schematically sketched here – is a multiple-quantum-well structure made up of a periodic repetition of identical stages of active regions sandwiched between carrier-injecting and -collecting portions. When a proper electric bias is applied, a sort of electronic cascade along the subsequent quantized-level energy staircase takes place, the so-called "quantum cascade" originally demonstrated in 1994 by Federico Capasso and co-workers [13].

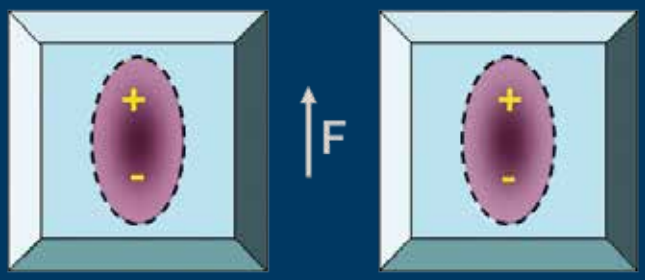


Fig. 4 First all-optical quantum information protocol based on semiconductor macromolecules, proposed in 2000 by Fausto Rossi and co-workers [18]. In this scheme the quantum information is encoded in the ground-state excitons (*i.e.*, Coulomb-bounded electron-hole pairs) of adjacent quantum dots, coupled via dipole-dipole interaction. The latter may be tuned by modulating an external electric field F. The quantum information processing is realized via ultrafast optical manipulation of the excitonic occupation numbers, $|0\rangle$ and $|1\rangle$ being the single-qubit basis corresponding to the absence and presence, respectively, of a ground-state exciton within each dot.

of interest and measuring apparatus is in general well defined, the same does not apply to the case of a quantum nanostructure inserted into an electric circuit; we shall come back to this crucial point later.

The big challenge of current semiconductor nanotechnology is to realize new-generation electronic and optoelectronic devices – often referred to as semiconductor quantum devices – via large-scale implementations of the basic quantum phenomena just recalled.

On the one hand, starting from the bandgap-engineering paradigm [10] originally envisioned in 1970 by Leona Esaki and Raphael Tzu [11] as well as on the revolutionary intraband-lasing strategy originally proposed in 1971 by Rudolf F. Kazarinov and Robert A. Suris [12], unipolar coherent-light sources have been realized, the so-called quantum-cascade lasers (fig. 3) [13–15]. Thanks to the continuous progress in bandgap engineering as well as in semiconductor-based quantum optics, several successful quantum-cascade designs – ranging from the mid- to the far-infrared spectral region – have been proposed and further developed.

On the other hand, a significant technological effort is currently devoted to the quest for semiconductor-based implementations of quantum-information protocols [16]. Mostly due to the need of low decoherence rates, the first proposals for the experimental realization of quantum-information processing devices originated from specialties in atomic physics, in quantum optics, and in magnetic-resonance spectroscopy. However, practically relevant implementations require a large number of quantum-hardware units (the so-called quantum bits or qubits), a condition hardly achievable in terms of such systems.

The first semiconductor-based implementation of quantum-information processing has been proposed by Daniel Loss and David P. DiVincenzo in 1998 [17]; the latter relies on electronic-spin dynamics in semiconductor quantum dots, thus exploiting the low decoherence of spin degrees of freedom, in comparison to the one of charge excitations. In contrast, as originally proposed in [18] (fig. 4), gating of charge excitations can be performed by exploiting the ultrafast laser technology previously mentioned, that allows to generate and manipulate electron-hole quantum states on a sub-picosecond timescale [5, 6]. In this respect, decoherence times on nano/microsecond scales can be regarded as "long" ones. According to this spirit, a number of all-optical implementation schemes with semiconductor macroatoms/molecules based on charge and/or spin degrees

of freedom have been recently put forward [5].

The wide family of semiconductor quantum devices introduced so far can be divided into two main classes: a first one grouping semiconductor devices characterized by a genuine quantum-mechanical behaviour of their electronic subsystem, and a second one which comprises low-dimensional nanostructures whose optoelectronic response in steady-state conditions may be safely treated within the semiclassical or Boltzmann picture.

Devices within the first class – characterized by a relatively weak coupling of the electronic subsystem to the host material – are natural candidates for the implementation of quantum information/computation processing. These include, in particular, semiconductor quantum-dot structures, for which the all-optical implementations just mentioned have been recently proposed. In this case, the pure quantum-mechanical carrier dynamics is only weakly disturbed by energy dissipation and decoherence processes; therefore, the latter are usually described in terms of relatively simplified models.

Conversely, quantum devices in the second class – in spite of their partially discrete energy spectrum due to spatial quantum confinement – exhibit a carrier dynamics which for normal operation conditions can still be described via a semiclassical (or Boltzmann) scattering picture. Such optoelectronic nanostructured devices include multiple-quantum-well and superlattice structures, like various quantum-well infrared photodetectors as well as the quantum-cascade lasers previously mentioned. These systems are characterized by a strong interplay between coherent dynamics and energy-relaxation/decoherence processes; it follows that for a quantitative description of such non-trivial coherence/dissipation coupling the latter needs to be treated via fully microscopic models.

Based on the above subdivision, it is quite natural to identify two distinct regimes, determined both by the peculiar features of the nanomaterial involved and by the particular operation conditions. More specifically, as schematically summarized in fig. 5, we deal with two different regimes, the semiclassical and the quantum-mechanical one. For both regimes it is possible to adopt either a phenomenological description or a microscopic treatment of the problem. In particular, according to the classification scheme of fig. 5, semiconductor devices operating within the semiclassical regime may be described either phenomenologically via simplified rate-equation models or microscopically via realistic Boltzmann-like treatments, while for devices operating within the quantum-mechanical regime we may adopt either a phenomenological description based on simplified Bloch-equation models or a microscopic description based, *e.g.*, on realistic density matrix or Green's

	Semiclassical regime	**Quantum-mechanical regime**
Phenomenological treatments	*Simplified rate-equation models*	*Simplified Bloch-equation models*
Microscopic treatments	*Realistic Boltzmann-like approaches*	*Realistic density-matrix approaches*

Fig. 5 General classification scheme of the various approaches employed for the theoretical study of semiconductor quantum devices.

function treatments (see below). A common feature of all phenomenological treatments is the description of electron-electron as well as electron-environment interaction mechanisms via relaxation-time models; conversely, all microscopic treatments are based on a detailed knowledge of the various interaction Hamiltonians, and therefore they do not require any phenomenological parameter.

From the scenario recalled so far, it is clear that current micro/nanoelectronics technology pushes device dimensions toward space- and time-scales where the traditional semiclassical or Boltzmann picture can no longer be applied, and genuine quantum approaches are imperative [4, 19]. However, in spite of the quantum-mechanical nature of electron and photon dynamics in the core region of typical solid-state nanodevices – *e.g.*, superlattices and quantum-dot structures – the overall behaviour of such quantum systems is often governed by a highly non-trivial interplay between phase coherence and dissipation/dephasing [4], the latter being also strongly influenced by the presence of spatial boundaries [20].

A widely used theoretical tool to account for such interplay in semiconductor nanostructures is the single-particle density matrix for the electron subsystem [4, 19]. This approach applies to a variety of physical problems [4, 6], ranging from quantum-transport phenomena to ultrafast electro-optical processes in "extended systems", *i.e.*, systems extending over the whole coordinate space. However, such approach cannot be straightforwardly applied to nanostructured devices. Indeed, a typical nanodevice is a "localized system", *i.e.*, a portion of material characterized by a well-defined volume and by spatial boundaries acting as electric contacts to external charge reservoirs, as sketched in fig. 6. Here, *z*

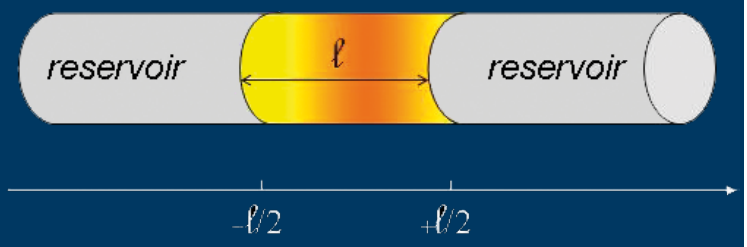


Fig. 6 Schematic representation of a typical semiconductor-based quantum device as an open system connected to two external charge reservoirs. Here, the distance between the interfaces is ℓ, and z is the longitudinal transport direction.

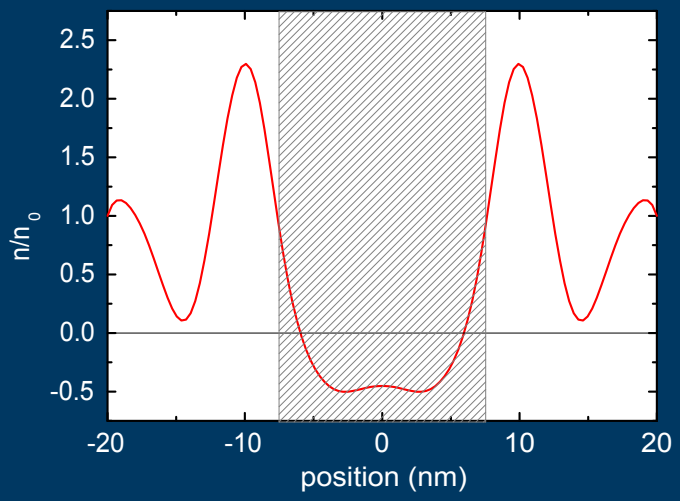


Fig. 7 Quantum transport through a GaAs-based device active region (ℓ = 40 nm) characterized by a rectangular-barrier profile (barrier width w = 15 nm, and barrier height V_0 = 100 meV) sandwiched between its electric contacts: spatial charge distribution obtained via a conventional (*i.e.* finite-difference) Wigner-function calculation for the case of a monoenergetic carrier injection from the left (ε_0 = 50 meV). As one can see, the carrier density profile obtained from the Wigner-function calculation exhibits an anomalous amount of charge on the right-hand side of the barrier and, even more importantly, the latter also displays a significant negative-value region, a definitely unphysical behaviour.

denotes the transport direction, ℓ is the longitudinal length of the device, the electric contacts being located at $z = -\ell/2$ and $z = +\ell/2$. The modeling of a nanostructure device thus represents an intrinsically space-dependent problem, so that a real-space quantum treatment accounting for the presence of quite different spatial regions becomes mandatory. To this purpose, the Wigner-function formalism [18] is a widely adopted framework. Within this formalism, the statistical quantum state of the electronic subsystem is fully described in terms of the so-called Wigner function, defined over the conventional phase-space as the Weyl-Wigner transform of the single-particle density matrix. For the one-dimensional case previously considered (see eq. (1)), the Wigner function is defined as

$$(2) \qquad f(z,k) = \int \mathrm{d}z' \mathrm{e}^{-ikz'} \overline{\phi\left(z+\frac{z'}{2}\right)\phi^*\left(z-\frac{z'}{2}\right)},$$

where the overbar denotes a suitable statistical average, and ϕ is the envelope wave function obtained as solution of the Schrödinger equation (1).

Based on the above Wigner-function formalism, various approaches for the study of quantum-transport phenomena in semiconductor nanomaterials and nanodevices have been proposed [4]. In particular, starting from the pioneering work by William R. Frensley [20], quantum-transport simulations based on a direct numerical solution of the Wigner equation (*i.e.*, the equation of motion for the Wigner function in (2)) have been performed via finite-difference approaches, by imposing on the Wigner function the standard spatial boundary condition scheme of the semiclassical theory.

Recent theoretical studies [21] have shown that the application of the conventional spatial boundary condition scheme to the Wigner transport equation may lead to partially negative charge probability densities (see fig. 7), unambiguous proof of the failure of this classical-like Wigner-function treatment. The origin of such a failure is intimately related to the measurement problem previously mentioned. In this case, the system to be measured, *i.e.*, the electronic subsystem within the device active region, is not spatially decoupled from the measuring apparatus, *i.e.*, the external electric circuit. In other words, within the Wigner representation z, k it is not possible to separate the simulated region ($|z|<\ell/2$) from the external carrier reservoirs ($|z|>\ell/2$) (see fig. 6); this is a direct consequence of the well-known non-local character of quantum mechanics.

In order to provide a basic example of such quantum non-locality, let us consider an ideal carrier wave function given by a superposition of two infinitely localized quantum states, described by two Dirac delta functions centered in $z = \pm a$:

$$(3) \qquad \phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\delta(z-a) + \delta(z+a)\right].$$

According to its definition in eq. (2), the corresponding

Wigner function is given by

$$(4) \quad f(z,k) = \frac{1}{2}\delta(z-a) + \frac{1}{2}\delta(z+a) + \delta(z)\cos(2ka)\,.$$

While the carrier density $n(z) = |\phi(z)|^2$ is different from zero only in $z = \pm a$, the corresponding Wigner function exhibits non-zero values also at $z = 0$ (see last term in eq. (4)), a clear fingerprint of the quantum non-locality previously mentioned.

This idealized scenario can be concretely realized via a properly tailored double-quantum-well structure. As shown in fig. 8, also in the presence of finite-size quantum-well states, while the spatial carrier density is negligible within the interwell barrier, the corresponding Wigner function exhibits significant non-zero values which are again a fingerprint of quantum non-locality effects.

In order to overcome such severe limitations of the Wigner-function modeling (see fig. 7), the crucial step is to replace the local (*i.e.*, classical-like) boundary-condition-scheme treatment of the device-reservoir interaction with a fully non-local approach; to this end, in order to ensure/maintain the positive-definite character of the electronic density matrix, a possible strategy is to describe the system/device-environment/reservoir interaction via a so-called Lindblad-like coupling term. In doing so, it is again crucial to assume the carrier reservoirs in thermal or quasi-thermal equilibrium; from a general point of view, this amounts once again to assuming the existence of the classical instrument previously recalled, which in this case coincides with the external electric circuit.

A few final remarks are now in order.

For a wide variety of physical systems – including conventional quantum nanomaterials and nanodevices – the experimental investigation of basic electro-optical processes is definitely well-defined; this implies that, in spite of the possible quantum-mechanical nature of the phenomenon under investigation, the latter is "robust against detection", *i.e.*, it is not significantly perturbed by the action of the measuring apparatus. This is typically the case of (meso- or macroscopic) many-constituent systems, like atomic or electronic gases.

In contrast, if the system under examination is "fragile against detection", the outcome of our experimental investigation is unavoidably affected by the action of the measuring instrument. This is typically the case of single electron or single-atom measurements, where it is hard to operate the classical-like separation between investigated system and corresponding measuring apparatus.

One is then forced to conclude that current nanoscience and nanotechnology is indeed an ideal arena for the investigation of basic quantum-mechanical phenomena and, more importantly, it allows one to concretely face its

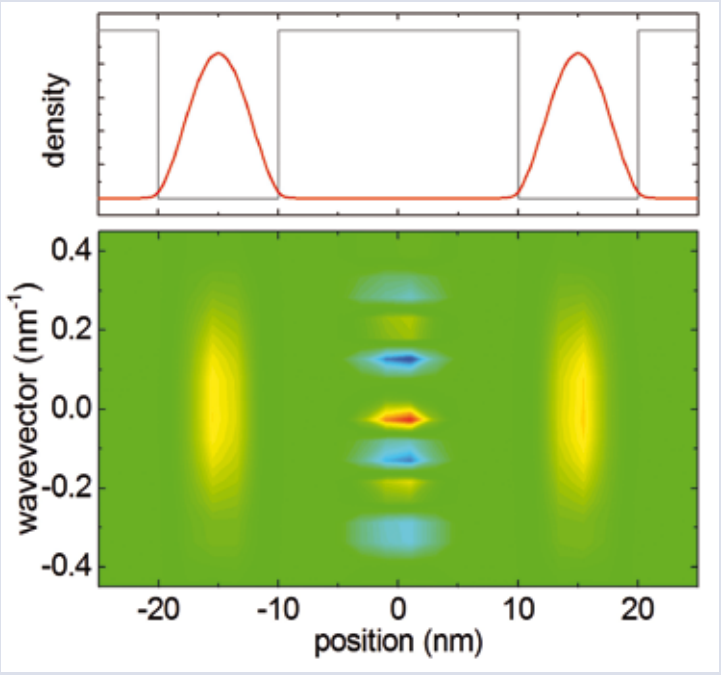


Fig. 8 Quantum non-locality in a GaAs/AlAs double-well nanostructure (well width $w = 10$ nm and interwell barrier width $b = 20$ nm): spatial carrier density (upper panel, red curve) and Wigner function (lower panel) corresponding to the ground-state of our double-well confinement potential (see upper panel, black curve). As expected, while the spatial carrier density (upper panel) is negligible within the interwell barrier, the corresponding Wigner function (lower panel) exhibits significant non-zero values, a clear fingerprint of the well-known non-local character of quantum mechanics.

intrinsic limitations, already pointed out in the early days of quantum mechanics by its founders and then "swept under the carpet" for almost a century. Indeed, the intrinsic limitations of current quantum-device modeling previously discussed constitute a direct proof of the failure of the arbitrary separation between classical and quantum world, *i.e.*, of the so-called measurement problem. When the system under investigation is extremely "fragile", the natural choice would be to employ a non-invasive detector, which, is "fragile" as well. It follows that the latter cannot operate as a classical instrument; thus, in order to measure the original system, one is then forced to introduce a second instrument able to measure the coupled system-detector dynamics, but this leads us back to the original problem, simply operating a conceptual shift of the artificial separation between quantum and classical worlds previously mentioned.

This unavoidably brings one to the general and popular open problem of quantum mechanics, *i.e.*, the role played by the so-called "observer". This philosophical issue goes beyond the scope of our discussion; nevertheless, the clear message is that the continuous progress in nanoscience and nanotechnology will unavoidably stimulate a profound reformulation of quantum mechanics, and this may constitute one of the most relevant scientific as well as philosophical achievements of the present century.

References

[1] See, *e.g.*, D. A. Neamen, "*Semiconductor Physics and Devices*", 3rd edition (McGraw-Hill, London) 2002 and references therein.
[2] See, *e.g.*, T. Ihn, "*Semiconductor Nanostructures*" (Oxford University Press, New York) 2010, and references therein.
[3] See, *e.g.*, G. Bastard, "*Wave Mechanics Applied to Semiconductor Heterostructures*" (John Wiley & Sons, New York) 1990, and references therein.
[4] See, *e.g.*, F. Rossi, "*Theory of Semiconductor Quantum Devices*" (Springer, Berlin, Heidelberg) 2011, and references therein.
[5] See, *e.g.*, "*Semiconductor Macroatoms: Basic Physics and Quantum-Device Applications*", edited by F. Rossi (Imperial College Press, London) 2005, and references therein.
[6] See, *e.g.*, J. Shah, "*Ultrafast Spectroscopy of Semiconductors and Semiconductor Nanostructures*", 2nd edition (Springer, Berlin, Heidelberg) 1999, and references therein.
[7] L. D. Landau and E. M. Lifshitz, "Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory", Vol. 3, 3rd edition (Pergamon Press, New York) 1977.
[8] R. Brunetti *et al., Phys. Rev. B*, 39 (1989) 10781.
[9] C. Fürst *et al., Phys. Rev. Lett*., 78 (1997) 3733.
[10] See, *e.g.*, F. Capasso, "*Bandgap Engineering: the Physics of Heterostructure Semiconductor Devices*" (John Wiley & Sons, Chichester) 2009, and references therein.
[11] L. Esaki and R. Tsu, *IBM J. Res. Dev*., 14 (1970) 61.
[12] R. F. Kazarinov and R. A. Suris, *Sov. Phys. Semicond.,* 5 (1971) 707.
[13] J. Faist *et. al*., *Science,* 264 (1994) 553.
[14] See, *e.g.*, C. Gmachl *et al*., *Rep. Prog. Phys*., 64 (2001) 1533, and references therein.
[15] See, *e.g.*, R. C. Iotti and F. Rossi, *Rep. Prog. Phys*., 68 (2005) 2533, and references therein.
[16] See, *e.g.*, C. Bennett, D. P. DiVincenzo and W. K. Wootters, "*Quantum Information Theory*" (Springer, New York) 2009, and references therein.
[17] D. Loss and D. P. DiVincenzo, *Phys. Rev. A,* 57 (1998) 120.
[18] E. Biolatti *et al*., *Phys. Rev. Lett.,* 85 (2000) 5647.
[19] See, *e.g.*, C. Jacoboni, "*Theory of Electron Transport in Semiconductor Materials and Structures*" (Springer, Berlin, Heidelberg) 2010, and references therein.
[20] See, *e.g.*, W. R. Frensley, *Rev. Mod. Phys*., 62 (1990) 745, and references therein.
[21] D. Taj, L. Genovese and F. Rossi, *Europhys. Lett.,* 74 (2006) 1060; R. Rosati, F. Dolcini, R. C. Iotti and F. Rossi, *Phys. Rev. B,* 88 (2013) 035401.

Fausto Rossi

Fausto Rossi is Full Professor of Matter Physics at the Politecnico di Torino, and he has published over 250 research articles on high-impact international journals and books, with a research track record of about 20 years of activity; he is author of the book *Theory of Semiconductor Quantum Devices* published by Springer within the *NanoScience&Technology Series*. His research activity, currently carried on within the Nanophysics and Quantum Systems (NQS) Lab (`www.polito.it/NQS`) includes: quantum theory of solids, interaction effects in low-dimensional systems, quantum transport phenomena and mesoscopic physics, electronic and opto-electronic devices at the nanoscale, hybrid systems and carbon-based materials.

Rita Claudia Iotti

Rita Claudia Iotti received the Laurea degree in Physics and the Ph.D. degree in Condensed Matter Physics from Università degli Studi di Pavia, Italy. Since 1999 she has been with the Politecnico di Torino, first as a visiting CNR (former INFM) researcher and then, since October 2006, as permanent Assistant Professor. Her research activity is mainly devoted to the theoretical investigation of optical and transport properties in semiconductor nanostructures, with both the aim of understanding basic physical phenomena and of designing novel quantum devices. Concerning the latter, she was involved in the realization of the first semiconductor THz heterostructure laser.

L'UNIVERSO QUASI PERFETTO DI PLANCK

PAOLO DE BERNARDIS[1], MARCO BERSANELLI[2]
[1] Dipartimento di Fisica, Università di Roma La Sapienza, Roma, Italia
[2] Dipartimento di Fisica, Università di Milano, Milano, Italia

Il satellite Planck dell'Agenzia Spaziale Europea, a coronamento del lavoro di una vasta collaborazione internazionale nell'arco di oltre due decadi, ha prodotto recentemente la più dettagliata mappa dell'Universo primordiale mai realizzata. Questo speciale telescopio ha osservato il cosmo da una postazione privilegiata, nello spazio profondo a 1,5 milioni di chilometri di distanza dal nostro pianeta, in modo da minimizzare i disturbi prodotti dalla terra e dalla luna. Planck ha misurato le microonde provenienti dal cosmo ed in particolare quelle del fondo cosmico di microonde (cosmic microwave background, CMB), che hanno viaggiato per quasi 14 miliardi di anni nell'Universo senza importanti interazioni, e quindi trasportano l'immagine di come era l'Universo in una fase molto primordiale, circa 380 000 anni dopo il Big Bang. La delicata distribuzione di anisotropie del fondo cosmico di microonde è il risultato di processi avvenuti sia nei primi attimi dopo il Big Bang che nei successivi 380 000 anni di evoluzione: come tale è un insostituibile portatore di informazioni sull'origine dell'Universo.

Immagine Esa/Planck Collaboration

1 Cosmologia del fondo di microonde

Secondo la cosmologia moderna, i fotoni del fondo di microonde furono generati pochi microsecondi dopo il Big Bang quando, nella fase iniziale dell'espansione dell'Universo, la temperatura scese sotto a quella richiesta per compensare tramite formazione di coppie le annichilazioni materia-antimateria (bariogeniesi). I fotoni così formatisi sono stati poi termalizzati dalle continue interazioni Thomson durante tutta la fase in cui l'Universo era sufficientemente caldo da essere ionizzato (i primi 380 000 anni dopo il Big Bang), formando così un perfetto spettro di corpo nero, alla stessa temperatura della materia. Quando la temperatura scese abbastanza da consentire la formazione di atomi di idrogeno (ricombinazione), l'Universo diventò trasparente ai fotoni. Quelli che ci arrivano oggi hanno quindi viaggiato senza ulteriori significative interazioni dalla ricombinazione fino a noi, trasportando l'immagine dell'Universo primordiale. Con l'espansione dell'Universo, lo spettro di corpo nero ha mantenuto la sua forma, ma la diluizione ed il redshift dei fotoni ne hanno diminuito la temperatura. Quello che era stato abbagliante luce visibile alla ricombinazione è divenuto oggi, 13,8 miliardi di anni dopo, un flebile fondo di microonde. Debole, ma vettore di importantissime informazioni sulla composizione, la geometria, e tutta l'evoluzione dell'Universo, incluse le sue primissime fasi.

In questo scenario cosmologico, detto del Big Bang Caldo, sono state sviluppate precise previsioni teoriche per tutte le osservabili del CMB, che sintetizziamo qui di seguito.

- Lo spettro deve essere un corpo nero. La sua misura (precisa entro una parte su 10 000 della massima brillanza) da parte dell'esperimento FIRAS a bordo del satellite COBE della NASA è stata premiata con il premio Nobel nel 2006.
- L'immagine del fondo di microonde deve contenere deboli anisotropie con proprietà statistiche ben definite. Queste dipendono dalla presenza di fluttuazioni di densità nell'universo primordiale. Queste devono essere presenti, per poi originare, per instabilità gravitazionale, la gerarchia di strutture cosmiche presenti oggi nell'universo. La prima rivelazione di tali anisotropie fu fatta dall'esperimento DMR, sempre a bordo di COBE (anch'esso riconosciuto con il premio Nobel), mostrando un grado di anisotropia dell'ordine di 10 parti per milione su scale angolari >7°.
- Un'ipotesi affascinante, emersa ngli anni '80, è che le anisotropie siano originate inizialmente da fluttuazioni quantistiche, poi amplificate a scale cosmologiche durante un processo di inflazione cosmica. Questo sarebbe associato ad una transizione di fase avvenuta a tempi dell'ordine di 10^{-35} secondi dopo il Big Bang, quando le energie in gioco erano altissime. Trovare conferme osservative di questi fenomeni iniziali ha grande interesse, sia per la cosmologia che per la fisica fondamentale.
  Se il processo di generazione delle fluttuazioni primordiali è prodotto da fenomeni puramente statistici, come nello scenario dell'inflazione, è impossibile calcolare in modo deterministico quale debba essere la distribuzione di anisotropie osservabile. Potremo però calcolarne le proprietà statistiche. Secondo la teoria inflazionaria vengono prodotte fluttuazioni di tutte le dimensioni, anche più grandi dell'orizzonte causale, ovvero più grandi della massima distanza che la luce ha percorso dal Big Bang fino all'epoca considerata. Tale orizzonte aumenta col tempo. Durante la fase di plasma, le fluttuazioni di densità di dimensioni maggiori dell'orizzonte causale non possono che rimanere congelate, mentre quelle di dimensioni inferiori oscillano, a causa dell'azione contrapposta della loro auto-gravità e della pressione dei fotoni. Infatti nello strano plasma iniziale ci sono circa 10^9 fotoni per ogni barione, come risultato della annichilazione quasi totale di materia e antimateria. Queste oscillazioni vengono dette in gergo "acustiche", anche se la loro frequenza è estremamente bassa. Le fluttuazioni di densità iniziano ad oscillare quando l'orizzonte causale diventa più grande delle loro dimensioni: solo a quel punto le interazioni (gravità e pressione di radiazione) iniziano ad agire in tutto il volume della fluttuazione. Questo sincronizza, ovunque nell'Universo, le oscillazioni di densità, in modo che tutte le fluttuazioni con le stesse dimensioni arrivano al momento della ricombinazione con la stessa fase. Quelle di dimensioni tali da arrivare alla ricombinazione massimamente compresse o massimamente rarefatte produrranno massima varianza nell'immagine dell'Universo primordiale trasportata dal fondo cosmico. Analizzando tale immagine, e stimandone la varianza in funzione delle dimensioni angolari, ci si aspetta una sequenza di picchi di varianza, corrispondenti alle fluttuazioni che hanno avuto il tempo di oscillare una, due, tre, o più volte tra l'ingresso nell'orizzonte causale e la ricombinazione. Poiché tutti i fotoni CMB ci provengono dalla stessa distanza, c'è una corrispondenza biunivoca tra le dimensioni intrinseche delle fluttuazioni alla ricombinazione e l'angolo da esse sotteso quando sono osservate dalla nostra posizione. La dipendenza della varianza della mappa dalle dimensioni angolari delle fluttuazioni è dunque una sintesi delle informazioni statistiche contenute nelle anisotropie CMB. In pratica si espande la mappa in armoniche sferiche, e si grafica il valore quadratico medio dei coefficienti dello sviluppo $C_\ell = \langle a_{\ell m}^2 \rangle$ in funzione del multiplo ℓ. La predizione è che questo grafico, detto spettro di potenza angolare, contenga una serie di picchi, i cui dettagli dipendono dalle proprietà delle oscillazioni e in particolare del mezzo (il plasma primordiale) nel quale esse avvengono.
- Il primo di questi picchi corrisponde a fluttuazioni di dimensioni pari all'orizzonte causale alla ricombinazione, che hanno avuto appena il tempo di comprimersi (o rarefarsi) massimamente, ovvero di oscillare una sola volta, prima della ricombinazione. Siccome questa è avvenuta 380 000 anni dopo il Big Bang, le dimensioni di queste perturbazioni sono di 380 000 anni luce. Viste da una distanza di 13,8 miliardi di anni luce, dopo una espansione dell'Universo di 1100 volte, ci aspettiamo che sottendano un angolo di circa 1 grado ($\ell \sim 200$). Questo in un universo Euclideo, in cui i fotoni si propagano su linee rette. In un universo con densità di massa-energia diversa da quella critica, la geometria sarà curva, e le dimensioni dell'orizzonte causale sottenderanno un angolo maggiore (per densità maggiore di quella critica) o minore (per densità inferiore) di 1 grado. Il multipolo del primo picco permette quindi di stabilire la curvatura a grande scala dell'universo, e quindi la sua densità di massa-energia.
- Altri parametri (come la densità di barioni, la densità di materia oscura, la densità di energia oscura, il numero e le masse dei neutrini) modificano in modo più o meno importante, ma previsto precisamente dalla teoria, la forma dello spettro di potenza: la sua misura permette quindi di vincolare i parametri cosmologici.
- Lo spettro di potenza delle anisotropie del fondo di microonde è stato misurato su regioni limitate di cielo a partire dal 2000, da BOOMERanG e da diversi altri esperimenti, evidenziando la presenza dei picchi di varianza, ed usandoli per vincolare i parametri cosmologici. La misura è stata estesa dal satellite WMAP della NASA,

che ha prodotto mappe del fondo di microonde a 5 frequenze e su tutto il cielo, confermando e migliorando i vincoli cosmologici. Più recentemente, i grandi telescopi ACT e SPT hanno misurato le anisotropie CMB con alta risoluzione angolare, misurando i picchi successivi dello spettro di potenza. La teoria delle oscillazioni del plasma primordiale, introdotta fin dagli anni '80, è stata così confermata sperimentalmente, iniziando l'era della cosmologia di precisione.

- I fotoni CMB attraversano le strutture cosmiche presenti nell'Universo a diverse epoche prima di raggiungerci. La presenza di grandi masse ne curva leggermente la traiettoria, così che l'immagine originale del fondo di microonde viene leggermente distorta (lensing gravitazionale). La distorsione misurata, dell'ordine dei minuti d'arco, permette in linea di principio di risalire al potenziale gravitazionale che l'ha generata. Rappresenta quindi una osservabile potentissima che permette di investigare la distribuzione delle strutture di materia oscura alla base della distribuzione a grande scala della materia in tutto l'Universo osservabile.
- I fotoni CMB che attraversano il gas ionizzato presente negli ammassi di galassie subiscono un effetto Compton inverso da parte degli elettroni del plasma (con temperature tipiche $T_e \sim 10^7$–10^8 K) ed acquisiscono energia (l'aumento è dell'ordine di kT_e/m_ec^2, quindi dell'ordine dell'1%). La probabilità di diffusione in un ammasso ricco è dell'ordine dell'1%, e quindi ci si aspetta una variazione della brillanza del fondo di microonde dell'ordine di 1 parte su 10 000 (Effetto Sunyaev-Zel´dovich, SZ). Questa è ben maggiore dell'anisotropia primaria, pari ad una parte su 100 000. Inoltre la dipendenza spettrale dell'effetto è molto caratteristica, perché l'aumento di energia dei fotoni provoca un deficit di fotoni CMB a frequenze inferiori a 217 GHz, ed un eccesso di fotoni CMB a frequenze maggiori di 217 GHz. Quindi un ammasso di galassie si manifesta nella mappa CMB come una macchia scura a frequenze basse, e come una macchia brillante a frequenze alte, un segnatura facilmente distinguibile da tutte le altre sorgenti sulla stessa linea di vista. Trattandosi di un fenomeno di scattering, la sua entità non dipende dalla posizione dell'ammasso sulla linea di vista. Ammassi lontani provocano la stessa variazione di brillanza di ammassi vicini. C'è quindi la potenzialità per rivelare un grandissimo numero di ammassi di galassie in tutto il volume di Hubble.
- La CMB deve avere un debole grado di polarizzazione lineare. Tutti i suoi fotoni hanno subito il loro ultimo scattering Thomson all'epoca della ricombinazione. Siccome a quell'epoca erano presenti fluttuazioni di densità, era presente una anisotropia nella radiazione incidente sugli elettroni diffondenti. La debole componente di quadrupolo di tale anisotropia produce necessariamente una debole polarizzazione lineare dei fotoni diffusi. Sorgenti di anisotropia di quadrupolo alla ricombinazione sono i campi di velocità convergenti verso addensamenti di massa, ed i campi di velocità divergenti da rarefazioni di massa. Stiamo parlando delle stesse rarefazioni ed addensamenti che producono le anisotropie della CMB. Gli elettroni diffondenti che si trovano nell'intorno di queste perturbazioni di densità partecipano ai moti convergenti e divergenti, e ricevono radiazione anisotropa diffusa dagli elettroni circostanti a causa della loro velocità relativa e del conseguente effetto Doppler. La geometria del sistema è tale da produrre un campo di pseudovettori di polarizzazione radiale intorno alle sovradensità, e tangenziale intorno alle sottodensità. Quindi la presenza di fluttuazioni di densità alla ricombinazione produce un campo di pseudovettori di polarizzazione irrotazionale (*E*-modes), correlato con la presenza di anisotropie.
- Un'altra possibile sorgente di anisotropia di quadrupolo alla ricombinazione sono onde gravitazionali di grande lunghezza d'onda, che per le loro caratteristiche generano un campo di polarizzazione con componenti sia rotazionali che irrotazionali (*B*-modes). Questo fenomeno è importante perché molte teorie inflazionarie prevedono la generazione, durante l'espansione esponenziale iniziale, di perturbazioni scalari (le fluttuazioni di densità all'origine delle strutture cosmiche) e anche di perturbazioni tensoriali (onde gravitazionali). Quindi, la misura di una componente rotazionale del campo di polarizzazione della CMB sarebbe una prova forte del fenomeno dell'inflazione, e permetterebbe addirittura di misurarne la scala di energia. I due fenomeni di cui abbiamo parlato hanno però ampiezze molto diverse. Le fluttuazioni di densità (*E*-modes) conducono a un grado di polarizzazione dell'ordine dell'1% delle anisotropie, e quindi dell'ordine di una parte per milione rispetto alla brillanza del fondo di microonde. Le onde gravitazionali generano un segnale rotazionale che dipende dalle energie a cui il fenomeno inflazionario avvenne, non ben precisate dalla teoria, ma comunque ancora inferiore.
- Diversi esperimenti, a partire dall'interferometro DASI al Polo Sud nel 2002, hanno misurato la polarizzazione lineare irrotazionale, trovandola del tutto consistente con quanto previsto a partire dalle anisotropie misurate, ipotizzando che le stesse fluttuazioni di densità generino sia le anisotropie che i campi di velocità e quindi la polarizzazione di tipo irrotazionale. La polarizzazione rotazionale, dovuta alle onde gravitazionali inflazionarie, non è ancora stata misurata.

2 L'esperimento Planck

Il progetto Planck (inizialmente chiamato "COBRAS/SAMBA") prese le mosse nel 1992, all'indomani della prima rilevazione delle anisotropie da parte di COBE-DMR, ed è stato sviluppato con l'ambizione di produrre una misura "definitiva" (limitata cioè da fattori astrofisici ineliminabili, e non dalle performance strumentali) dell'intero spettro di potenza delle anisotropie, e di spingere le misure di polarizzazione a sensibilità elevatissime. Gli strumenti di Planck coprono un ampio intervallo di frequenze (da 30 GHz a 860 GHz) in modo da sottrarre con la necessaria precisione l'emissione di microonde del mezzo interstellare e tutti gli altri contributi locali. A causa dello spessore finito della superficie di ultimo scattering, le fluttuazioni di densità di piccole dimensioni presenti sulla stessa linea di vista si compensano, per cui non ci si aspettano anisotropie intrinseche della CMB a scale angolari inferiori a 5´. Per questo il telescopio di Planck è di dimensioni tali (1,5 m di diametro dello specchio primario) da assicurare che i rivelatori ad alta frequenza abbiano risoluzioni angolari proprio di 5´ FWHM. Inoltre, data la sensibilità prevista per i rivelatori, raffreddati criogenicamente, l'errore di misura della brillanza in ogni pixel è talmente basso che l'ineliminabile incertezza dovuta alla natura statistica dell'osservabile (varianza cosmica) è maggiore dell'incertezza dovuta al rumore dei rivelatori. In questo senso la misura, in assenza di effetti sistematici importanti, è definitiva. Per ottenere prestazioni eccellenti su tutta la banda di frequenze coperta è stato necessario usare due tecnologie di misura: amplificatori coerenti a bassissimo rumore raffreddati a 20 K per le bande centrate a 30, 44, 70 GHz (strumento a bassa frequenza, LFI), e bolometri criogenici raffreddati a 0.1 K per le bande centrate a 100, 143, 217, 343, 545, 857 GHz (strumento ad alta frequenza, HFI). Le prestazioni misurate durante il volo sono riassunte in tabella 1, dove è evidente la combinazione senza precedenti di basso rumore strumentale e alta risoluzione angolare raggiunta dall'esperimento. In fig. 1 è visibile il satellite prima del lancio.

Per ottenere una configurazione in cui la precisione della misura sia limitata solo dalla sensibilità dei rivelatori si devono minimizzare, fin dal progetto, le potenziali sorgenti di errori sistematici. Nel caso di Planck, proprio a causa dell'altissima sensibilità (a livello di pochi milionesimi di K), la lotta agli effetti sistematici è particolarmente difficile. Uno degli effetti più difficili da controllare è quello della radiazione che viene diffratta sui rivelatori pur provenendo da direzioni diverse da quella di osservazione. L'emissione termica del Sole, della Terra e della Luna è molti ordini di grandezza maggiore delle flebili anisotropie primordiali, quindi anche una minima parte di essa, raggiungendo dopo diverse diffrazioni i rivelatori, rovinerebbe le misure. Il telescopio di Planck ha dimensioni notevoli, ed una serie di schermi che minimizzano l'effetto della radiazione diffratta. Ma se Planck avesse volato in un'orbita bassa intorno alla Terra, l'emissione terrestre avrebbe riempito un angolo solido approssimativamente pari a 2π steradianti. La brillanza emessa dalla Terra, pur trovandosi nei lobi laterali o posteriori della

Canale	Numero di rivelatori	Frequenza centrale (GHz)	Beam FWHM (')	Ellitticità del beam	Rumore ($\mu K_{RJ} s^{1/2}$)	Rumore ($\mu K_{CMB} s^{1/2}$)
30 GHz	4	28,4	33,16	1,37	145,4	148,5
44 GHz	6	44,1	28,09	1,25	164,8	173,2
70 GHz	12	70,4	13,08	1,27	133,9	151,9
100 GHz	8	100	9,59	1,21	31,5	41,3
143 GHz	11	143	7,18	1,04	10,4	17,4
217 GHz	12	217	4,87	1,22	7,45	23,8
353 GHz	12	353	4,7	1,20	5,52	78,8
545 GHz	3	545	4,73	1,18	2,66	0,0259 MJy/sr
857 GHz	4	857	4,51	1,38	1,33	0,0259 MJy/sr

Tab. 1 Parametri strumentali di Planck, misurati durante il volo.

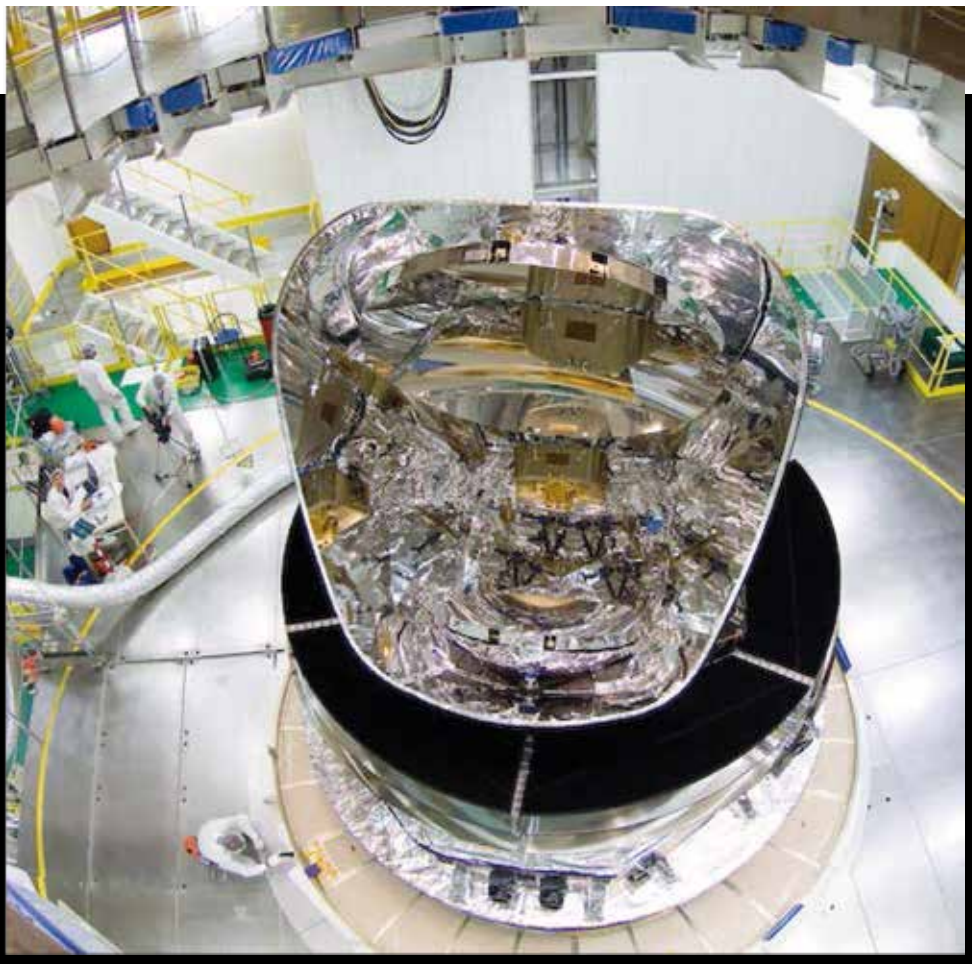


Fig. 1 Il satellite Planck già montato sul razzo ArianeV durante le fasi finali di preparazione al lancio. Sono visibili, all'interno del grande schermo che blocca la radiazione fuori asse, i due specchi del telescopio, ed il piano focale con le antenne corrugate per la rivelazione delle microonde provenienti dall' universo primordiale (foto cortesia di ESA/Planck Collaboration).

risposta del telescopio, avrebbe generato segnali spuri di livello confrontabile o maggiore di quello delle anisotropie del fondo di microonde, specialmente alle più grandi scale angolari, rendendo impossibile una misur di precisione. Questa analisi ha condotto alla decisione di portare il telescopio nel punto lagrangiano L2 del sistema Terra-Sole. In questo modo la brillanza emessa dalla Terra occupa un angolo solido pari a soli 50 milionesimi di steradiante, riducendo il disturbo prodotto di circa 100 000 volte rispetto a quanto ottenibile in orbita bassa o da terra. Il punto L2 è anche favorevole dal punto di vista della stabilità termica dell'esperimento, garantita dal fatto che durante tutta la scansione del cielo l'asse di rotazione del "payload" viene mantenuto vicino alla direzione antisolare. Infine, in L2, con una semplice rotazione dello strumento intorno al suo asse si può esplorare il cielo lungo grandi cerchi (la direzione di osservazione del telescopio è inclinata di 85° rispetto all'asse di rotazione), senza incontrare mai l'emissione della Terra, della Luna, e del Sole.

Un altro aspetto esemplificativo dell'innovazione strumentale di Planck è la decisione di raffreddarne (radiativamente) il telescopio, in modo da ridurre una delle maggiori sorgenti di fondo radiativo (e quindi di rumore) sui rivelatori. Grazie al design termico innovativo e alla scelta dell'orbita, durante il volo il telescopio di Planck si è portato ad una temperatura inferiore a 40 K. Siccome il rumore intrinseco della maggior parte dei rivelatori di Planck è inferiore al rumore della radiazione che misurano (fondo e segnale), riducendo la temperatura dello specchio da temperatura ambiente a 40 K si è ridotto significativamente il fondo di radiazione incidente sui rivelatori, e quindi il rumore della misura. Per la stessa ragione, nessun componente ottico di Planck ha temperatura superiore a quella del telescopio. Non ci sono finestre a tenuta di vuoto, e per questo motivo l'esperimento è stato lanciato a temperatura ambiente, ed è stato raffreddato durante la lunga fase di crociera (e verifica funzionale), prima di raggiungere L2.

Quelli riportati sopra sono solo due esempi delle soluzioni, a volte radicali, utilizzate fin dal progetto della missione per garantirne l'eccellenza delle prestazioni. I gruppi dei due strumenti hanno lavorato per molti anni per ottimizzarle, dati gli stringenti vincoli termici, di potenza, ingombro e peso presenti in una missione operante da L2. Cruciale è stata anche la delicatissima campagna di verifiche a terra degli strumenti e della catena criogenica, condotta nell'arco di molti anni con test sulle singole unità, sugli strumenti integrati, e sull'intero payload.

Il risultato è un esperimento molto più performante di tutti i precedenti. Ad esempio l'uso di bolometri a 143 GHz raffreddati a 0,1 K ha permesso di ottenere una sensibilità istantanea 25 volte maggiore di quella del canale V (il più sensibile) di WMAP, il satellite della NASA lanciato nel 2002 che ha prodotto mappe a tutto cielo del CMB, ed una risoluzione angolare 3 volte migliore. Tenendo conto delle durate delle due scansioni del cielo (9 anni per WMAP, 29 mesi per Planck HFI), la sensibilità prevista per la misura del CMB di Planck è circa 12 volte migliore di quella di WMAP. L'alta sensibilità di Planck ci pone in una situazione nuova: nei precedenti esperimenti CMB i risultati erano sempre limitati dal rumore dei rivelatori. Qui è probabile che siano limitati da sottili effetti sistematici, il cui controllo diventa la preoccupazione principale durante l'esecuzione delle misure e l'analisi dei dati. La presenza di 9 frequenze, di molti rivelatori indipendenti per ciascuna delle frequenze osservate, e la ripetizione delle scansioni del cielo (8 per LFI e 5 per HFI) consentono di eseguire un grande numero di test di consistenza, che sono il miglior modo per evidenziare eventuali effetti sistematici. Inoltre, una caratteristica unica di Planck è l'utilizzo di due tecnologie diverse per i due strumenti LFI ed HFI, soggette quindi a effetti sistematici indipendenti. L'analisi incrociata dei due strumenti consente quindi una verifica estremamente efficace nell'analisi dei dati della missione.

L'esperimento è stato lanciato il 14/5/2009 con un vettore Ariane-V. Durante il lungo viaggio (due mesi) verso L2 ha completato la procedura di raffreddamento dei sensori, per passare alla fase di scansione del cielo. Ciascuna copertura dell'intera volta celeste ha richiesto circa 6 mesi di scansione, per cui il cielo è stato osservato più volte, a distanza di tempo e con passaggi sui pixel in direzioni diverse, rendendo così possibili diversi test di auto-consistenza. Ambedue gli strumenti HFI ed LFI hanno funzionato magnificamente durante la missione, con una durata di molto superiore ai 15,5 mesi previsti nella missione nominale. Le osservazioni di HFI si sono concluse il 14/01/2012 con l'esaurimento dei gas usati per il raffreddamento dei rivelatori, mentre lo strumento a bassa frequenza ha continuato a lavorare fino al 23/10/2013. Intanto sul satellite è stata effettuata una manovra di "de-orbiting", inviandolo verso lo spazio profondo.

3 I nuovi risultati

Già nel 2011 la collaborazione Planck ha pubblicato risultati di notevole importanza scientifica riguardanti il mezzo interstellare e gli ammassi di galassie. Qui ci concentriamo sulla recente (21/3/2013) presentazione dei risultati di interesse cosmologico. Questi risultati sono basati sulla cosiddetta "missione nominale", ovvero i primi 15,5 mesi di operazione del satellite.

I prodotti principali sono le 9 mappe di tutto il cielo, una per ciascuna delle frequenze osservate da Planck, visibili in fig. 2.

Abbiamo già anticipato che, grazie all'ampia copertura di frequenze e all'alta precisione delle mappe, è possibile effettuare una efficiente procedura di inversione, ottenendo la mappa di ciascuna delle componenti indipendenti che compongono la brillanza proveniente da ciascuna linea di vista. Infatti ciascuna delle componenti ha uno spettro diverso, quindi la brillanza misurata in ciascuna delle frequenze di Planck è una somma pesata delle diverse emissioni, con pesi diversi per ciascuna frequenza. Esistono diversi metodi di inversione (component separation), che differiscono per le ipotesi e le procedure matematiche utilizzate: nel caso di Planck la consistenza delle mappe ottenute con ben quattro diversi metodi è una prova della robustezza dei dati e dell'analisi. Il risultato è un insieme di mappe, ciascuna riguardante un'emissione di natura diversa.

Per la nostra Galassia, è stata realizzata una mappa dell'emissione termica della polvere

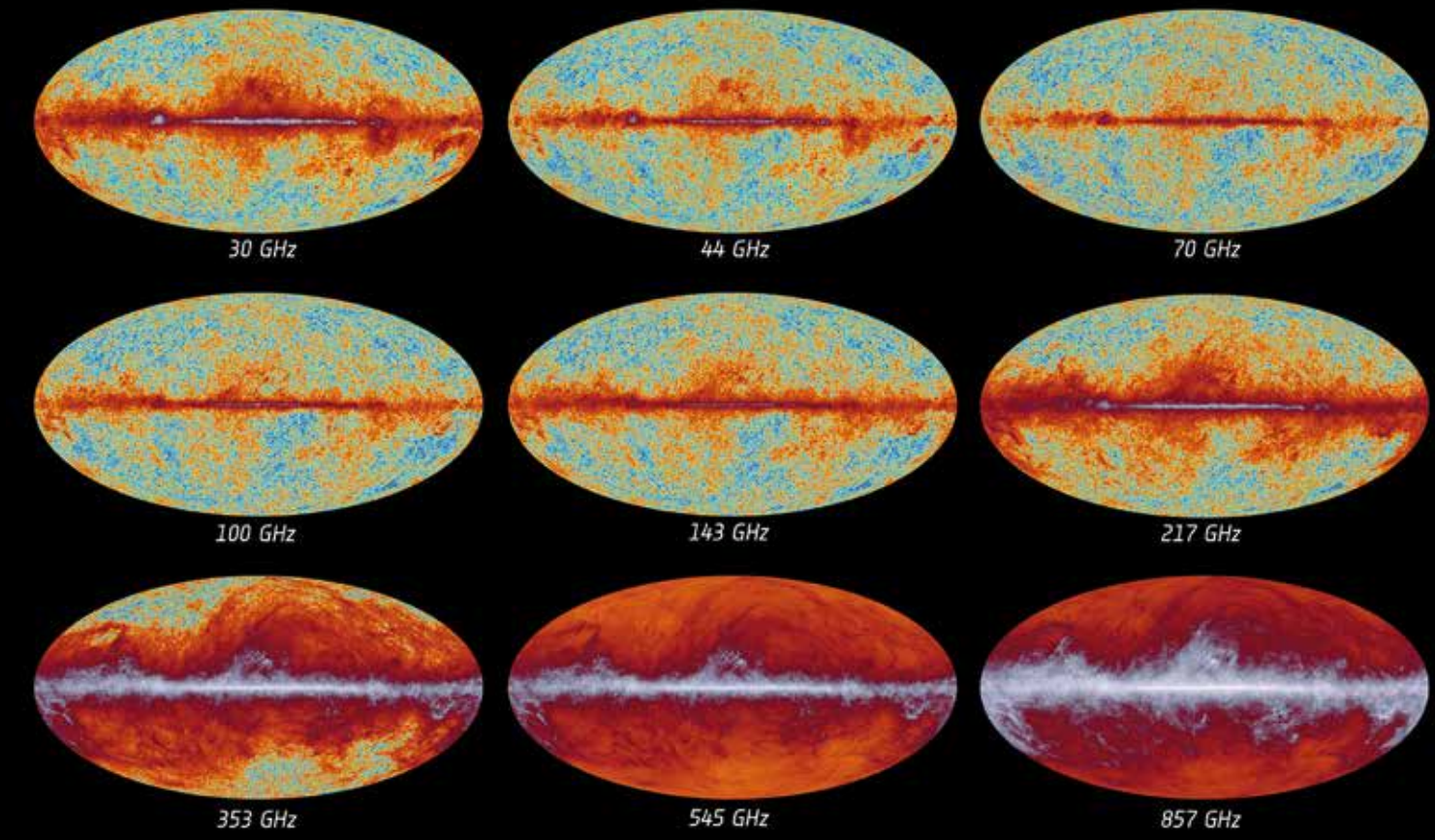


Fig. 2 Mappe del cielo in coordinate galattiche, ottenute a 9 lunghezze d'onda millimetriche dal satellite Planck. Nelle mappe a frequenze più basse e più alte il cielo è dominato dall'emissione del mezzo interstellare. Ad alte latitudini galattiche e alle frequenze centrali sono già evidenti le anisotropie del fondo cosmico di microonde. Ciascuna mappa è costituita da circa 6 milioni di pixel indipendenti, ciascuno di 5 minuti d'arco di lato, quindi la figura non può rendere conto della ricchezza di dettagli presenti. Immagine cortesia di ESA: `http://sci.esa.int/planck/51563-all-sky-maps-of-the-cosmic-microwave-background-at-nine-frequencies/`

interstellare, uno dei prodotti dalle stelle alla fine della loro vita, disperso nel mezzo interstellare dalle esplosioni di supernovae. Sempre per la nostra Galassia, è stata realizzata una mappa dell'emissione degli elettroni liberi presenti tra le stelle (emissioni di sincrotrone e free-free). A basse frequenze è stata anche evidenziata una componente dovuta all'emissione di dipolo rotante dovuta al grado di libertà rotazionale di piccoli grani di polvere carichi. Siccome è stata misurata per la prima volta solo recentemente, ed è evidente come eccesso di emissione con picco intorno a 10 GHz, è stata denominata emissione di microonde "anomala" (AME). Per il cosmo intergalattico è stata realizzata una mappa della CMB diffusa dal gas ionizzato degli ammassi di galassie tramite l'effetto Sunyaev-Zel´dovich, alcuni dei quali talmente lontani da non essere mai stati osservati prima. È stato realizzato un catalogo di circa 25 000 sorgenti puntiformi, per lo più extragalattiche, alcune delle quali con massimo di emissione nel radio, altre nell'infrarosso. Infine, è stata separata in modo affidabile la mappa dell'anisotropia del fondo cosmico di microonde (vedi fig. 3). Il numero di componenti appena elencato mostra come fosse impossibile ottenere risultati accurati con gli strumenti predecessori di Planck, che osservavano un numero di frequenze inferiore al numero di componenti indipendenti dell'emissione.

Fondamentale per la riuscita di queste procedure è la calibrazione degli strumenti. Nel caso di Planck la calibrazione è basata sulla misura dell'anisotropia di dipolo indotta per effetto Doppler sul fondo di microonde a causa del moto del satellite rispetto alla materia lontana da cui provengono i fotoni CMB. Tale velocità non è conosciuta precisamente, perché è dovuta alla composizione del moto della Terra intorno al Sole (il punto L2 segue la Terra), del moto del Sole intorno al centro Galattico, del moto della Galassia nel gruppo locale, e del moto del gruppo locale verso l'Ammasso della

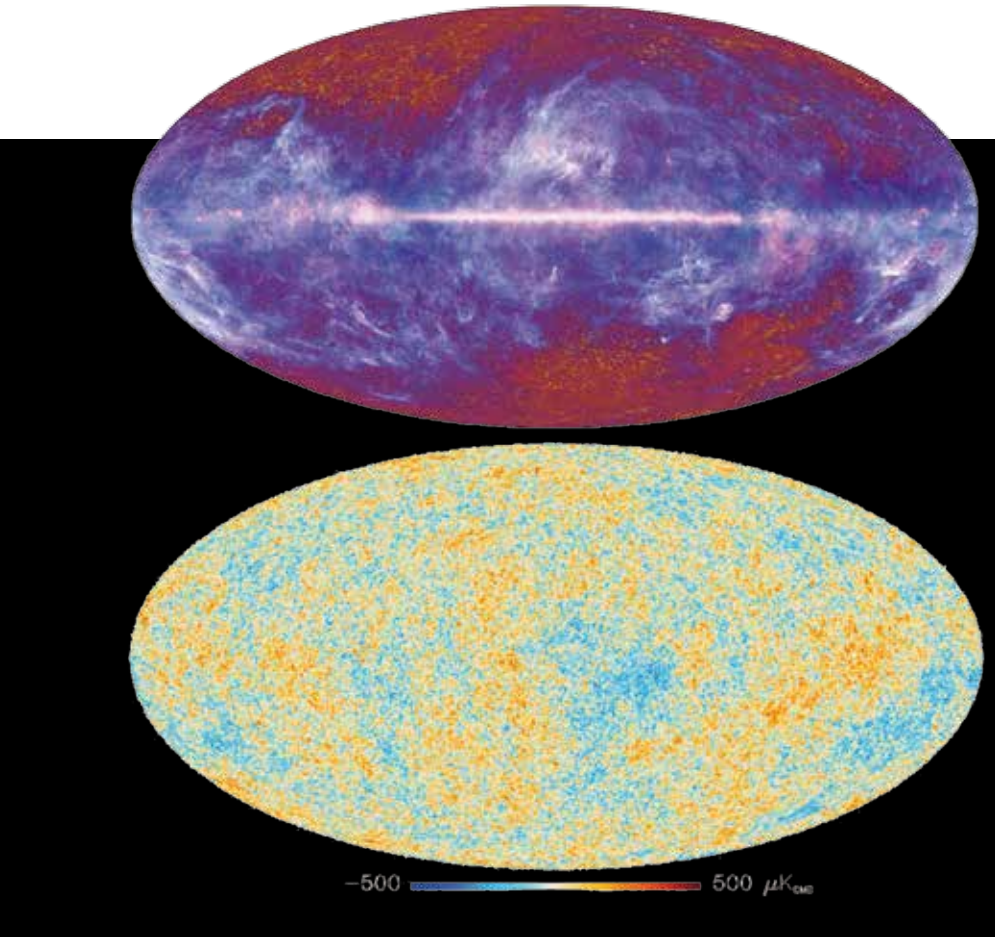


Fig. 3 Sopra: Il cielo nelle microonde, come osservato dal satellite Planck, una volta sottratta l' anisotropia di dipolo. I diversi colori indicano diversi contributi: in blu-bianco l'emissione della nostra galassia, in rosso-giallo l'emissione dell'Universo primordiale. Sotto: La mappa a tutto cielo del fondo cosmico di microonde estratta dalle mappe di Planck alle diverse frequenze tramite un sofisticato sistema di separazione delle componenti, che sfrutta la diversa dipendenza dalla frequenza delle diverse emissioni. L'anisotropia di dipolo dovuta al moto dell'osservatore rispetto alla materia lontana è stata sottratta. Le macchie colorate individuano regioni leggermente più fredde (blu) o leggermente più calde (rosse) a causa delle fluttuazioni di densità presenti 13,8 miliardi di anni fa, e progenitrici delle strutture presenti oggi nell' universo. Immagini cortesia di ESA : `http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Planck/Planck_reveals_an_almost_perfect_Universe`

Vergine. Ma la sua variazione annuale è dovuta alla sola variazione della velocità orbitale della terra intorno al sole, che inverte il suo verso in 6 mesi, e che è conosciuta con grande precisione. Si usa quindi il cosiddetto dipolo orbitale – che si può ottenere ad esempio sottraendo due mappe del cielo misurate a 6 mesi di distanza una dall'altra – come segnale del quale è nota a priori l'ampiezza. Infatti il segnale dovuto all'effetto Doppler in questo caso è $\Delta T/T = (v_{orb}/c)\cos\theta$, dove θ è l'angolo tra la linea di vista e la direzione del dipolo orbitale, e v_{orb} è la velocità della Terra intorno al Sole, pari a 30 km/s e nota con grande precisione da misure astrometriche. Confrontando il segnale di dipolo orbitale misurato in tutti i canali sensibili al CMB (canali con frequenza < 400 GHz) con il segnale aspettato dalla formula precedente, si è ottenuta la calibrazione fotometrica di tali canali, con precisione intorno allo 0,1%.

La mappa del CMB misurata da Planck contiene strutture di diverse dimensioni. L'analisi in armoniche sferiche della mappa consente di stimare lo spettro di potenza delle anisotropie CMB, con grande precisione ed accuratezza. Sono state svolte due procedure diverse per stimare lo spettro. A gradi scale si usano le mappe di LFI e HFI da 30 a 353 GHz per separare le componenti sull'87% del cielo, evitando così il piano galattico. Così si stima lo spettro di potenza CMB a multipoli inferiori a $\ell = 50$. Per stimare i multipoli superiori si usano maschere più conservative (58% del cielo a 100 GHz, 37% del cielo a 143 e 217 GHz). In questo modo si evita qualunque residua contaminazione galattica dei dati mantenendo altissima sensibilità. Il risultato di questa analisi è mostrato in fig. 4.

Come si vede, lo spettro copre per la prima volta con un singolo esperimento tutti i multipoli da 2 a 2500. A scale medio piccole la precisione di questo spettro è molto migliore di quella degli esperimenti precedenti. Questo consente uno studio molto dettagliato dei parametri cosmologici e dei fenomeni riportati nella sezione 1.

Il modello cosmologico oggi più popolare è quello denominato Λ-CDM, che assume una espansione inflazionaria dell'universo iniziale, ed una preponderanza nella composizione di massa-energia dell'universo di energia del vuoto e materia oscura fredda. I parametri indipendenti del modello sono sei, e servono a definire la geometria e composizione dell'universo di background, e le fluttuazioni iniziali di densità rispetto al background stesso. Una possibile scelta dei 6 parametri è la seguente: l'ampiezza globale dello spettro di potenza delle perturbazioni iniziali di densità (A_s) e il suo indice spettrale (n_s), lo spessore ottico (τ) attraversato dai fotoni dopo la ricombinazione (presente soprattutto quando l'universo

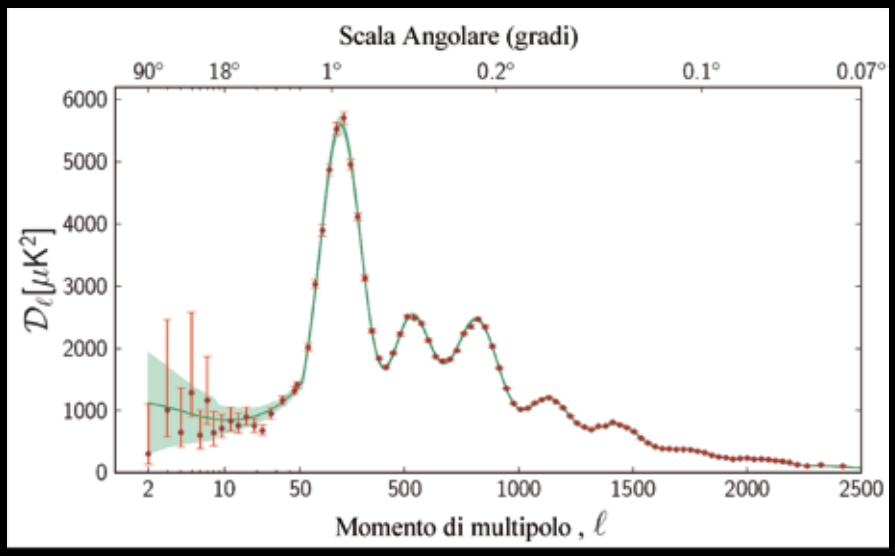


Fig. 4 Spettro di potenza dell'anisotropia del fondo cosmico di microonde, misurato dal satellite Planck. Le barre d'errore includono sia l'errore dovuto alla varianza cosmica (ineliminabile e importante a grandi scale angolari) che gli errori statistici e di calibrazione. La linea continua rappresenta il best fit con un modello Λ-CDM a 6 parametri liberi, la banda verde rappresenta la varianza cosmica aspettata. Sono visibili "a occhio nudo" ben 7 picchi dovuti alle oscillazioni acustiche del plasma primordiale. Immagine cortesia di ESA Immagine cortesia di ESA : http://sci.esa.int/planck/51555-planck-s-power-spectrum-of-temperature-fluctuations-in-the-cosmic-microwave-background/.

si reionizza a causa della formazione delle prime stelle), le dimensioni angolari sottese dall'orizzonte alla ricombinazione (θ_*), il parametro di densità fisica per i barioni ($\Omega_b h^2$), il parametro di densità fisica per la materia oscura ($\Omega_c h^2$). Gli altri parametri cosmologici (come la costante di Hubble, il parametro di curvatura, la densità di energia oscura, etc.) possono essere derivati da combinazioni di questi sei. Il modello definito da questi parametri descrive in modo straordinariamente accurato le misure (come evidente in fig. 3). I valori di best-fit di questi parametri, e di altri parametri cosmologici derivati da questi, sono riportati in tabella 2.

Parametri	Planck (CMB + lensing)	
	Best fit	limiti del 68%
$\Omega_b h^2$	0,022242	$0,02217 \pm 0,00033$
$\Omega_c h^2$	0,11805	$0,1186 \pm 0,0031$
$100\,\theta_{MC}$	1,04150	$1,04141 \pm 0,00067$
τ	0,0949	$0,089 \pm 0,032$
n_s	0,9675	$0,9635 \pm 0,0094$
$\ln(10^{10} A_s)$	3,098	$3,085 \pm 0,057$
Ω_Λ	0,6964	$0,693 \pm 0,019$
σ_8	0,8285	$0,823 \pm 0,018$
z_{re}	11,45	$10,8^{+3,1}_{-2,5}$
H_0	68,14	$67,9 \pm 1,5$
Age/Gyr	13,784	$13,796 \pm 0,058$
$100\,\theta_*$	1,04164	$1,04156 \pm 0,00066$
r_{drag}	147,74	$147,70 \pm 0,63$
$r_{drag}/D_V\,(0,57)$	0,07207	$0,0719 \pm 0,0011$

Tab. 2 Sopra: i valori dei 6 parametri cosmologici indipendenti ottenuti tramite una procedura di best fit dello spettro di potenza di fig. 4, usando il modello Λ-CDM. Sotto: altri parametri cosmologici, derivati da combinazioni dei 6 determinati sopra.

I valori dei parametri ottenuti non variano usando diverse procedure di separazione del CMB dalle emissioni locali, a riprova della robustezza delle misura di Planck.

Nel fare il fit è stato necessario tenere conto anche dell'effetto del lensing gravitazionale da parte delle strutture di materia oscura evolutesi dallo spettro iniziale di perturbazioni di densità. Il fenomeno del lensing smussa leggermente la struttura dei picchi "acustici" nello spettro di potenza dell'anisotropia CMB. I dati di Planck sono così precisi che questo fenomeno è rivelato con un livello di confidenza di 10σ. Da questo studio è possibile ricavare l'integrale del potenziale gravitazionale lungo la linea di vista, e quindi la distribuzione di materia oscura nell'universo, e il suo spettro di potenza. L'ampiezza dello spettro di potenza del potenziale gravitazionale è perfettamente consistente con quella aspettata dall'evoluzione delle perturbazioni iniziali di densità responsabili delle anisotropie primarie. Il loro rapporto è $A^{\phi\phi} = (0{,}99 \pm 0{,}05)$: una evidenza a 20 σ dell'esistenza di lensing gravitazionale sui fotoni CMB. Le informazioni che Planck ha ottenuto sul lensing aiutano a risolvere degenerazioni tra parametri, e combinate con quelle dello spettro di potenza contribuiscono alla precisione con cui si ottengono i valori dei perametri cosmologici.

Tra i parametri misurati, quello più preciso è la scala dell'orizzonte acustico alla ricombinazione (legato alla dimensione media delle macchie più abbondanti nell'immagine del CMB), che è determinata con una precisione dello 0,1%. Anche gli altri parametri sono comunque vincolati con precisione notevole: con Planck si è raggiunta la maturità dell'era della cosmologia di precisione inaugurata 13 anni fa con BOOMERanG.

Lo spettro iniziale di perturbazioni di densità consistente con questi dati è uno spettro di potenza su più di tre decadi di dimensioni delle fluttuazioni, con un esponente n_s della legge di potenza costante (non c'è evidenza di "running" dell'indice spettrale). L'indice spettrale n_s è dell'ordine dell'unità (che corrisponderebbe all'invarianza di scala) ma è minore dell'unità (con un livello di confidenza di 6σ, e indipendentemente dal modello scelto). Tutto questo è esattamente ciò che ci si aspetta nel caso in cui le fluttuazioni di densità iniziali sono generate da fluttuazioni quantistiche primordiali tramite il processo di inflazione cosmica. Si può escludere un certo numero di modelli inflazionari tra i molti ipotizzati dai teorici. I modelli favoriti da Planck hanno un campo scalare singolo, neutro e debolmente accoppiato, con potenziale localmente concavo. Per il rapporto tra ampiezza delle perturbazioni tensoriali e ampiezza delle perturbazioni scalari (r) si trova un limite superiore che è il più stringente mai ottenuto, ed anche il più stringente che si può ottenere non usando misure di polarizzazione: $r < 0{,}11$ al 95% di livello di confidenza, che implica un limite per la scala di energia dell'inflazione di $1{,}9 \times 10^{16}$ GeV.

La costante di Hubble derivata dal best fit è consistente con quella derivata da WMAP , e due volte più precisa. Il suo valore è relativamente basso, in eccellente accordo con recenti misure statistiche di distribuzione su larga scala (oscillazioni acustiche barioniche, BAO), e dista 2,5 σ dalla costante di Hubble ottenuta con i classici metodi ottici. Se questa tensione implichi una differenza tra costanti di Hubble locale e globale, o sia il risultato di effetti sistematici non rivelati, o sia semplicemente una fluttuazione statistica, non si può ancora dire.

Lo spessore ottico incontrato dai fotoni CMB durante la reionizzazione (τ) è determinato dai soli dati di anisotropia di Planck. Questo è possibile perché il lensing gravitazionale, ben misurato da Planck, smussa l'ampiezza dei picchi e quindi l'ampiezza dei picchi non è più semplicemente proporzionale ad $A_s e^{-\tau}$: i due parametri non sono più degeneri. Il valore trovato è consistente con quello misurato precedentemente da WMAP e favorisce una fase di reionizzazione dell'Universo estesa.

Alcuni dei parametri sono un po' diversi da quelli determinati recentemente dall'analisi finale del satellite WMAP. Se per i due esperimenti si fa un fit dei soli dati CMB si ottiene che il parametro di densità per l'energia oscura è più basso del 6%, il parametro di densità dei barioni più alto del 9%, ed il parametro di densità per la materia oscura più alto del 18% in Planck rispetto a WMAP. Queste variazioni si riducono di un fattore tre quando si includono nei due fit anche dati di oscillazioni acustiche barioniche.

Il modello Λ-CDM è una descrizione eccellente dei dati misurati. Estendendo il modello con l'aggiunta di parametri liberi ulteriori, non si ottiene alcun significativo miglioramento del fit. Ad esempio non c'è nessuna evidenza per l'esistenza di altre specie di particelle relativistiche (oltre ai fotoni e alle 3 specie di neutrini). La presenza di neutrini massivi sopprime l'aggregazione di strutture a scale più grandi dell'orizzonte all'epoca della transizione non relativistica. Questo si ripercuote sullo spettro del potenziale gravitazionale $C_L^{\phi\phi}$ con un abbassamento del livello a $L > 10$, e sullo spettro dell'anisotropia CMB riducendo lo smussamento dei picchi dovuto al lensing gravitazionale. Il limite per la somma delle masse dei neutrini massivi ottenuto combinando lo spettro di anisotropia misurato da Planck con le misure di polarizzazione di WMAP e con le anisotropie ad alti multipoli dagli esperimenti ACT e SPT risulta $\sum m_\nu < 0{,}66$ eV (a un livello di confidenza del 95%). Il limite diventa $\sum m_\nu < 0{,}85$ eV se si usa anche lo spettro del lensing gravitazionale, che evidentemente preferirebbe masse maggiori. Questa modesta tensione verrà sicuramente chiarita dall'analisi dei dati di tutta la missione, che migliorerà il rapporto segnale rumore per lo spettro del lensing e fornirà anche gli spettri di polarizzazione. Combinando tutti i dati disponibilil di CMB e di BAO si ottiene il limite assai stringente $\sum m_\nu < 0{,}23$ eV.

Una forte previsione del modello inflazionario è che le

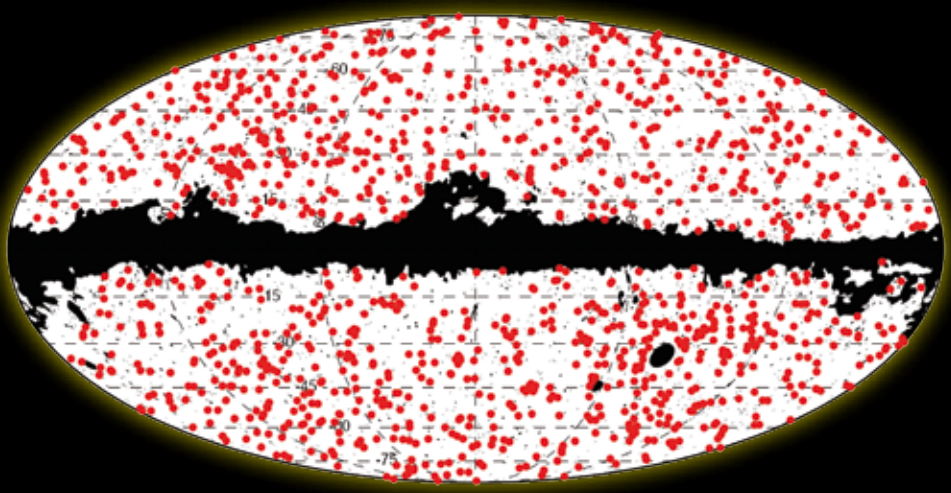


Fig. 5 Posizioni nel cielo di 1227 ammassi ricchi di galassie misurati da Planck. Ciascuno di essi contiene centinaia o migliaia di galassie. La presenza di ciascun ammasso è stata individuata tramite l'effetto Compton inverso subito dai fotoni CMB nell'attraversare il gas ionizzato presente nel volume dell'ammasso. Trattandosi di un effetto di scattering, si possono studiare gli ammassi di galassie più lontani in modo molto più efficiente che non con le misure in raggi X. Quasi la metà di questi ammassi di galassie non era mai stata osservata prima. La striscia nera orizzontale rappresenta le zone dove l'emissione della nostra galassia impedisce questo tipo di osservazioni. Immagine cortesia di ESA/Planck Collaboration.

fluttuazioni di densità iniziali che producono le fluttuazioni di temperatura del CMB siano originate da fluttuazioni quantistiche iniziali, enormemente espanse dal processo di inflazione. In questo caso, le fluttuazioni di temperatura devono essere isotrope, e in pirma approssimazione gaussiane, con piccole non-gaussianità ad un livello così basso da non essere misurabile, nemmeno con Planck, almeno nei modelli di inflazione più semplici. La mappa del CMB misurata da Planck è stata analizzata a fondo per investigare queste due caratteristiche.

A basso livello, esistono delle deviazioni dall'isotropia, presenti indipendentemente dal metodo di separazione delle componenti, dalla maschera di esclusione dell'emissione galattica, dalla combinazione di mappe utilizzata. Queste anomalie erano state evidenziate anche da WMAP, e ora i nuovi dati di Planck dimostrano che esse non derivano da effetti sistematici o di separazione di componenti. Le più importanti sono un allineamento tra le componenti di quadrupolo e di ottupolo dell'anisotropia, l'asimmetria tra emisfero nord ed emisfero sud galattici della varianza delle fluttuazioni, e la presenza di un decremento significativo della brillanza, detta "cold spot". Il livello di significatività di queste deviazioni è di circa 3 deviazioni standard. In questo senso, l'universo primordiale studiato da Planck è "quasi perfetto". Se le imperfezioni misurate siano accidentali o siano segno di qualcosa più profondo lo si potrà scoprire solo con nuovi dati CMB e nuovi dati cosmologici di altra natura.

Invece non si trova alcuna evidenza di non gaussianità delle fluttuazioni. Il parametro che descrive la debole non-gaussianità prodotta nei modelli inflazionari (f_{NL}) misura l'ampiezza della non linearità di tipo quadratico nel modo di perturbazione di curvatura. La mappa di Planck è stata analizzata con diversi estimatori di bispettro, e vincola f_{NL} ad essere nullo con limiti superiori al suo valore molto migliori di quelli ottenuti precedentemente da WMAP e da tutti gli altri esperimenti di anisotropia CMB.

Tramite l'effetto SZ è possibile misurare un grande numero di ammassi di galassie, ed anche usarli come sonde cosmologiche. L'analisi di separazione delle componenti ha permesso di estrarre dalle mappe multi-frequenza di Planck un catalogo di 1227 candidati ammassi ricchi di galassie (vedi fig. 5).

Questi hanno un rapporto segnale/rumore maggiore di 4,5, e sono distribuiti sull'84% del cielo. Per 861 di questi è stata già confermata la natura di ammassi di galassie (e 178 di essi non erano mai stati osservati prima). I rimanenti candidati ammassi dovranno essere confermati tramite osservazioni successive. In ogni caso questo catalogo rimarrà per anni il più profondo catalogo di ammassi di galassie a tutto cielo. Su un sottocampione esteso del catalogo è stato svolto un lavoro di validazione tramite i dati X del satellite XMM, mostrando un accordo eccellente tra le proprietà del gas intra-cluster inferite da osservazioni X e quelle inferite dall'effetto SZ, e confermando e migliorando le relative relazioni di scala. Nel catalogo di Planck la massa limite non varia apprezzabilmente con il redshift dell'ammasso. Inoltre Planck può trovare gli ammassi più lontani ($z > 0{,}5$) e più massivi ($M > 5 \times 10^{14} M_{\odot}$), che sono i migliori da utilizzare come sonde cosmologiche. In questa ottica è stato realizzato un sottocatalogo contenente 189 ammassi, per i quali è noto il redshift, e che hanno rapporto segnale/rumore maggiore di 7. Dal conteggio di questi ammassi è stato possibile stimare, oltre al parametro di densità della materia Ω_m, anche il parametro σ_8, che misura la deviazione standard della densità di materia alla scala di 8 Mpc. Si ottiene $\Omega_m = 0{,}29 \pm 0{,}02$ e $\sigma_8 = 0{,}77 \pm 0{,}02$. Questi risultati sono stabili per cambiamenti nella soglia del rapporto S/N, nella scelta del sottocampione, e nelle assunzioni sulla funzione di massa e sulla completezza del campione. Valori molto simili si ricavano studiando lo spettro dell'emissione SZ diffusa. Quindi c'è una ottima autoconsistenza per quanto riguarda le misure di ammassi di galassie ottenute da Planck, ma

c'è una modesta tensione con quanto inferito dall'analisi dello spettro di potenza dell'anisotropia intrinseca del CMB, che favorisce valori di σ_8 più elevati. Questa tensione può essere alleviata modificando le assunzioni riguardo al bias tra massa ottenuta da osservazioni X e massa reale, oppure introducendo neutrini massivi.

4 Conclusioni

Dopo oltre 21 anni di proggettazione, sviluppo, prove, osservazioni e analisi dati, i primi risultati cosmologici di Planck ricompensano tutti gli sforzi prodotti nell'arco di questo entusiasmante progetto. è il risultato di una vasta collaborazione (vedi: *http://www.sciops.esa.int/index.php?project=planck&page=Planck_Collaboration*) che ha visto il contributo di centinaia di ricercatori e nella quale l'Italia ha giocato un ruolo di primissimo piano. Le osservazioni di precisione di Planck forniscono 9 mappe di tutto il cielo a frequenze tra 30 e 857 GHz. Le mappe riguardano i primi 15,5 mesi di osservazioni e sono calibrate con precisione dello 0,4% per i canali a 30, 44, 70, 100, 143, 217, 343 GHz e del 10% per i canali a 545 e 857 GHz. Le mappe sono costituite da pixel di 5´ di lato. Le mappe sono disponibili pubblicamente nel "Planck legacy archive" all'indirizzo `http://www.sciops.esa.int/index.php?project=planck&page=Planck_Legacy_Archive`

I primi risultati scientifici dell'analisi di queste mappe sono descritti in una serie di articoli in corso di pubblicazione su "Astronomy and Astrophysics", scaricabili da `http://www.sciops.esa.int/index.php?project=PLANCK&page=Planck_Published_Papers`

Diverse procedure di separazione delle componenti convergono su una nitida e accurata mappa dell'anisotropia CMB, della quale è stato calcolato lo spettro di potenza angolare per multipoli compresi tra $\ell = 2$ e $\ell = 2500$.

Lo spettro misurato è perfettamente consistente con quanto aspettato in un modello cosmologico in cui la densità di massa-energia dell'universo è dominata dall'energia oscura, con una componente importante di materia oscura (fredda), mentre i barioni sono sottodominanti. Il modello ha curvatura nulla, come aspettato nello scenario inflazionario. Inoltre, sempre in accordo con il processo inflazionario, le fluttuazioni di densità iniziali sono di tipo adiabatico, gaussiane e approssimativamente invarianti di scala. Questo modello, detto Λ-CDM e specificato solo da 6 parametri liberi, è consistente in maniera spettacolare con lo spettro di potenza misurato da Planck. I parametri cosmologici di best fit sono determinati con grande precisione accuratezza e stabilità, La cosmologia di precisione è ora pienamente matura e affidabile.

L'avventura di Planck non è finita. Nel 2014 verranno rilasciati i risultati di polarizzazione e di anisotropia basati sui dati dell'intera missione. Questi promettono ulteriore precisione e forse la soluzione di alcune delle anomalie già evidenziate in passato e confermate pienamente dalle prime misure di Planck.

Sebbene la misura di Planck dell'anisotropia sia sostanzialmente definitiva, quella della polarizzazione non lo sarà. La comunità che ha realizzato Planck ha nuove idee per sondare l'universo ancora più a fondo con future missioni spaziali dedicate alla polarizzazione, come la recente missione PRISM (`www.prism-mission.org`). Le potenzialità sono immense, e commensurate alla sfida strumentale/tecnologica.

Per approfondire:

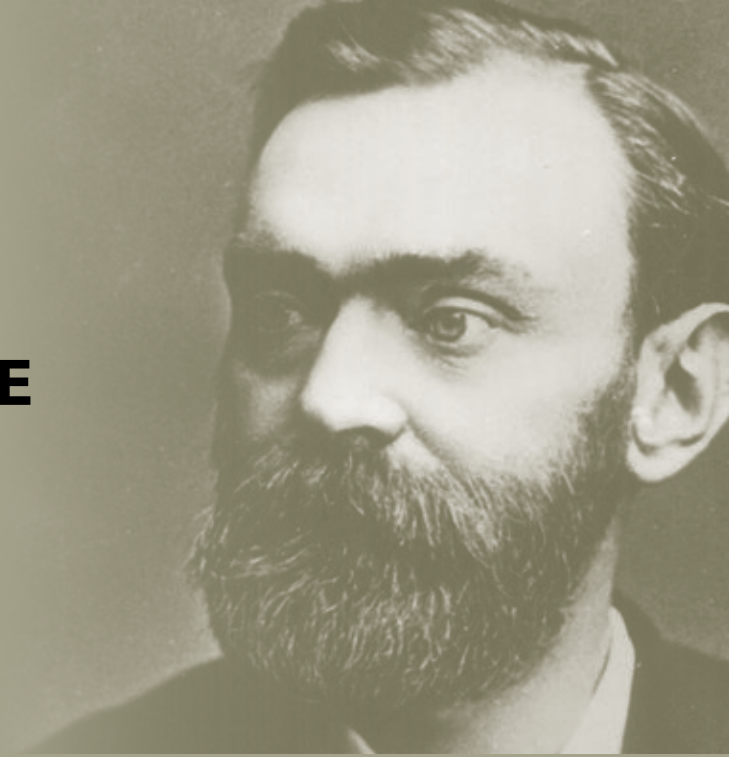
- `www.satellite-planck.it`
- P. de Bernardis, "*Osservare l'Universo*" (Il Mulino) 2010.
- W. Hu, S. Dodelson, "*Cosmic Microwave Background Anisotropies*", *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 40 (2002) 171.
- J. E. Carlstrom, G. P. Holder and E.D. Reese, "*Cosmology with the Sunyaev-Zel'dovich Effect*", *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, 40 (2002) 643.
- *Planck Collaboration - Planck 2013 results, I.* "*Overview of products and scientific results*", submitted to *Astron. Astrophys.* (2013), `http://arxiv.org/abs/1303.5062`
- *Planck Collaboration - Planck 2013 results, XVI.* "*Cosmological parameters*", submitted to *Astron. Astrophys.* (2013), `http://arxiv.org/abs/1303.5076`

Paolo de Bernardis

Paolo de Bernardis è Professore ordinario di Astrofisica presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza" e membro dell' Accademia Nazionale dei Lincei. È stato il coordinatore italiano dell'esperimento da pallone BOOMERanG, lanciato dall'Antartide, che ha ottenuto la prima immagine dettagliata dell' universo primordiale nel 2000, ed ha contribuito agli esperimenti MAXIMA e Archeops. È co-investigator dello strumento HFI sul satellite Planck dell' ESA per lo studio del fondo di microonde e del cielo millimetrico, ed ha proposto e sta coordinando lo strumento ad alta frequenza del "Large Scale Polarization Explorer" dell'Agenzia Spaziale Italiana. Autore o co-autore di più di 300 articoli, ha ricevuto premi internazionali per le sue ricerche sul CMB.

Marco Bersanelli

Marco Bersanelli è Professore ordinario di Astronomia e Astrofisica e Direttore della Scuola di Dottorato in Fisica presso l'Università degli Studi di Milano. Si occupa di Cosmologia osservativa, in particolare di misure del fondo cosmico di microonde. Ha lavorato presso Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, e ha partecipato a due spedizioni scientifiche alla base antartica Amundsen-Scott al Polo Sud per misure di cosmologia. È fra gli iniziatori della missione spaziale Planck dell'Agenzia Spaziale Europea, lanciata nel 2009. È Deputy PI e Instrument Scientist di Planck-LFI, uno dei due strumenti a bordo del satellite, ed è membro del Planck Science Team.



ALFRED NOBEL AND THE NOBEL PRIZES*

BJÖRN JONSON
Fundamental Physics, Chalmers University of Technology
Göteborg, Sweden

The second week of October is for many a thrilling and important week, since this is the week when the names of the laureates of the five Nobel Prizes are announced. On the Tuesday of that week the name of the recipient of the Nobel Prize in Physics is revealed and recognition is given to his/her work. The awarding institution for the Nobel Prize in Physics is the Royal Swedish Academy of Sciences. The main working body, responsible for most of the work involved in selecting Nobel Prize laureates however, is the Nobel Committee for Physics. How that Committee works, from the start of the preparatory work in the month of September and throughout the process which ends with the Nobel Prize Award Ceremony in the Stockholm Concert Hall on December 10 the following year, is not so widely known. Also not well known is the story of Alfred Nobel and how he created the immense fortune which, in accordance with his will, was to be used to create a series of prizes to be awarded those who confer the "greatest benefit on mankind" in physics, chemistry, peace, physiology or medicine, and literature.

1 Alfred Nobel

Alfred Bernhard Nobel was born on October 23, 1833 in Stockholm, Sweden. He was the third son of Immanuel and Andriette Nobel. His father Immanuel was an engineer, architect, inventor and industrialist. One of his inventions was for example the rotary lathe used in modern plywood manufacturing. Following some business failures Immanuel Nobel left Stockholm for St. Petersburg in1838 hoping to do better there. He left his wife and children in Stockholm the first years. He achieved great success in St Petersburg as a manufacturer of machine tools and explosives and, after four years, in 1842 his family joined him. Now, after having acquired a decent economy his parents could send Alfred to private tutors. Alfred was a very bright pupil and he excelled particularly in chemistry and languages. He acquired fluency in English, French, German, Russian and later also Italian. He had the privilege to study chemistry under the guidance of the well-known Russian chemist Nikolai Zinin. In 1850 he got the opportunity to go to Paris to continue his chemistry studies and at the age of 18 he went to the United States where he studied chemistry for a further four years.

The success in St. Petersburg for the Nobel factory was to a large extent due to their production of armaments for the Crimean War. After the end of the war in 1856 there was a shift in Russian policies. The new Tsar, Alexander II, ordered a severe cut in the military budget that eventually placed Immanuel's company in serious economic

*This article is based on a talk presented at INFN, Sezione di Pisa in April 2013.

Bertha Kinsky

Sofie Hess

Ragnar Solman

difficulties. Alfred's elder brother Ludvig took over the St. Petersburg Company and Immanuel, with the rest of the family, returned to Sweden in 1859.

From the time when Alfred came back to Sweden he devoted himself to the study of explosives. He was especially interested in trying to develop a safe manufacture and use of nitroglycerin. Nitroglycerin is a colourless, oily chemical, which is very unstable and detonates very easily. It was the Italian chemist Ascanio Sobrero, who had first discovered nitroglycerin in 1847. Nitroglycerin was the first practical explosive ever produced that was stronger than black powder.

After their return from Russia the Nobel family had built a laboratory in Stockholm, at a place called Heleneborg, where they continued their dangerous work with explosives. Several accidents occurred in the course of this work. The most disastrous one, on Saturday, September 3, 1864, killed six workers, among them Alfred's youngest brother Emil.

The breakthrough was when Alfred Nobel found that when nitroglycerin was incorporated in an absorbent inert substance like kiselguhr (diatomaceous earth) it became safer and more convenient to handle. Alfred's work with nitroglycerin had started in 1860 and he got the mixture with kiselguhr patented in 1867. This new explosive was named dynamite and its power was first demonstrated in England the same year.

Alfred Nobel continued his experiments and combined nitroglycerin with gun-cotton, which turned out to be an even more powerful explosive than dynamite and it was patented as Gelignite in 1876.

With companies in many different places Alfred had to travel a lot in order to maintain them. Alfred's success as a businessman made him finally a very wealthy man. At his time of death Alfred had 355 patents and owned factories in many countries in Europe and North America.

In 1873 he selected Paris as his permanent home and he lived there until 1891. In Paris he built a laboratory and as a curiosity one may also mention that he bought a couple of white horses, which he used for his Sunday trips in Bois de Boulogne. These horses played, as we shall see later, a very important role in the history of the Nobel Prizes.

Alfred Nobel remained unmarried throughout his life. There were, however, two women that played important roles in his life, Bertha von Suttner and Sofie Hess. In 1876 the following advertisement appeared in the "wanted column" of a Viennese newspaper: "A very wealthy, cultured, elderly gentleman, living in Paris, desires to find a lady also of mature years, familiar with languages, as secretary and manager of his household." He got an answer from an unmarried, 33 year old woman called Bertha Kinsky. After some exchange of letters Bertha came to Paris and became Alfred's secretary. The problem was that she actually was engaged at the time to a Baron von Suttner. A week after her arrival Alfred was forced to leave Paris for urgent business matters and when he returned home three weeks later Bertha had left Paris and gone back to Vienna. Within a month she married Arthur von Suttner. Even if Alfred and Bertha were only together for a brief time they continued to keep contact and corresponded with each other throughout the years until Alfred's death. It is believed that Bertha had a major influence on Alfred's decision to include a peace prize in his will. Bertha became a leading figure in the peace movement with the publication of her novel, Die Waffen nieder! ("Lay Down Your Arms!") in 1889 and she founded an Austrian pacifist organization in 1891. Bertha von Suttner was awarded the Nobel Peace prize in 1905 "for her sincere peace activities".

The fact that Bertha left Paris so suddenly made Alfred depressed and he went to Baden bei Wien to recover and take care of his health. There he met a twenty-year-old girl, Sofie Hess, working as a salesgirl in a florist shop. Alfred and Sophie began a relationship that lasted for 18 years.

In 1891 he got into problems with the French authorities and decided to move to San Remo in Italy. There he bought a house, erected a chemistry laboratory (fig. 1) and carried out weapon tests (fig. 2). His house in San Remo, Villa Nobel, is today open for the general public as a museum.

Fig. 1 Alfred Nobel's private laboratory in his house in San Remo. This was the place where he was happiest and during a period of time he worked daily together with Ragnar Solman in the laboratory (photo: L. Bergström).

Fig. 2 A cannon that Alfred Nobel shipped from his Bofors factory and used for test-firings in San Remo. This cannon is still in the garden of Villa Nobel (Photo: L. Bergström).

Alfred Nobel (on the left) with his collegue Robert Strehlenert at Villa Nobel in Sanremo, 1896.

Two years later, in 1893, he bought the Bofors Steel Factory in Sweden and made it an arms factory. He had also built a house with a laboratory in Bofors. His white horses in Paris were now shipped to Sweden and placed in a stable in Bofors. In early December 1896 Alfred Nobel suffered a stroke and died from it on December the 10th.

2 The will

Alfred Nobel's handwritten will was signed in Paris on November 27, 1895. When the will was opened after his death it was a great surprise for those present that the largest part of his estate, amounting to 33 million Swedish crowns, was supposed to be put into a fund financing the Nobel Prizes. His family were bequeathed only 2 million crowns. Another significant aspect was that Alfred put Ragnar Solman as the executor of his will. Solman, an engineer and chemist, who had been Alfred's personal assistant since 1893, now had to start the process of executing the will. Realizing that the assets of Alfred Nobel were located in several countries, the executors first decided to move most of these to Sweden. Suspecting that French authorities might make claim to the money and block its transfer, Solman together with another young engineer, Rudolph Liljequist simply went around the banks in Paris with a horse and carriage and collected the shares, bonds and other documents belonging to the Nobel estate. The documents were then packed into crates and shipped back to Sweden from one of the Paris railroad stations, Gare du Nord, as registered luggage.

Back in Sweden, Ragnar Sohlman played a very important role in executing the will of Alfred Nobel. He was instrumental in establishing the Nobel Foundation and organizing its cooperation with the prize-awarding institutions. Even if Solman

had succeeded in bringing all documents to Sweden there was an attempt from the French authorities to get the money back since they considered Alfred's home to be in Paris. A French lawyer, working for Solman, solved this problem: He found a paragraph in the French law that stated ''a man's home is where he has his horses''… In this way the stable in Bofors, where Alfred Nobel kept his white horses, became of major importance for the Nobel Prizes.

A translation of part of Alfred Nobel's handwritten will is given in fig. 3. One should especially note the clear difference between the physics and chemistry prizes. The physics prize is given for "a discovery or an invention", while the chemistry is given for "a discovery or an improvement".

The Nobel Prizes were first awarded in year 1901. The physics laureate was Wilhelm Conrad Röntgen, who got the prize '' in recognition of the extraordinary services he had rendered by his discovery of the remarkable rays subsequently named after him".

"I, Alfred Bernhard Nobel, hereby declare, after due consideration, that with regard to the estate that, after my death, I will leave behind.
(.....)
The whole of my remaining realizable estate shall be dealt with in the following way: the capital, invested in safe securities by my executors, shall constitute a fund, the interest on which shall be annually distributed in the form of prizes to those who, during the preceding year, shall have conferred the greatest benefit on mankind. The said interest shall be divided into five equal parts, which shall be apportioned as follows: one part to the person who shall have made the most important discovery or invention within the field of physics; one part to the person who shall have made the most important chemical discovery or improvement; one part to the person who shall have made the most important discovery within the domain of physiology or medicine; one part to the person who shall have produced in the field of literature the most outstanding work in an ideal direction; and one part to the person who shall have done the most or the best work for fraternity between nations, for the abolition or reduction of standing armies and for the holding and promotion of peace congresses. The prizes for physics and chemistry shall be awarded by the Swedish Academy of Sciences; that for physiology or medical works by the Karolinska Institute in Stockholm; that for literature by the Academy in Stockholm, and that for champions of peace by a committee of five persons to be elected by the Norwegian Storting. It is my express wish that in awarding the prizes no consideration be given to the nationality of the candidates, but that the most worthy shall receive the prize, whether he be Scandinavian or not."

Fig. 3 Translation of parts of Alfred Nobel's handwritten will that was signed by him on November 25, 1895. In accordance with the terms of Alfred Nobel's will the five Nobel Prizes have been awarded to laureates since 1901. For the Nobel Prize for Physics the prize-giving institution is the Royal Swedish Academy of Sciences through its Physics Class and its Nobel Committee.

3 The work of the Nobel Committee for Physics.

I was a member of the Nobel Committee for Physics for seven years and acted as its chairperson in 2012. In the following I give an outline of the way the work is performed by the Committee. The work has a general structure that is repeated year after year but in many places I just give the specific example just from the year 2012.

Selection of the Committee members

The Nobel Committee is appointed by The Royal Swedish Academy of Sciences on recommendations put forward by its Class of Physics. The Academy consists of ten classes and its third class is the Physics Class. The Committee members are elected for a period of three years and are normally selected from among the members of the Academy. The Committee members may be re-elected twice. There is also a possibility to appoint adjoint members for one-year periods. The Committee has a scientific secretary appointed without a specific time limit. Since the year 1900 there have only been seven different secretaries.

The nominations

The work with the 2012 Nobel prizes started in September 2011, when the Nobel Committees sent individual invitations to thousands of members of academies, university professors, scientists from numerous countries, previous Nobel Laureates, members of parliamentary assemblies and others, asking them to submit proposals for candidates for the Nobel Prizes. For Physics the following groups are asked to give nominations:

Members of the Royal Swedish Academy of Sciences

- The Nobel Committees
- Previous Nobel Laureates
- Professors of Physics in the Nordic Countries
- Professors of Physics at selected Universities (changes every year)
- Specially invited scientists (non-university)

These nominators are chosen in such a way that as many countries and universities as possible are represented over time. There is a sharp deadline for the nominations to be in Stockholm; they have to be in the hands of the Committee before the 1st of February.

Meetings during the first six months of the year

The first meeting of the Committee takes place in early February. The received nominations have by then been bound together into a booklet where also different statistics concerning the nominations are provided. The Committee works through the nominations and discusses different subjects, proposals and names. After this meeting the members of the Committee have to continue to work in detail with the different nominations during the rest of the month of February.

The second meeting of the year takes place about one month later. At this stage the Committee discusses the nominations more in depth. The Committee collects as much background material as possible to be used in its deliberations. In addition to this an important input for the work is given by reports that the Committee may ask for from external experts. Such reports often provide additional inside information about some important detailed issues. The nominations where the Committee feels that additional information is needed are discussed and a list of possible external experts is decided upon by the Committee. This list is then presented to and discussed with the Physics Class and a final list of experts that should be contacted is agreed upon. Shortly after letters are sent out with requests for the expert's advice, which should be sent to Stockholm in ordinary letters and be there, at the latest, by the end of May. It is maybe unnecessary to point out that this whole procedure is handled with the utmost discretion.

During the spring joint meetings with the Nobel Committee for Chemistry as well as the Nobel Committee for Medicine or Physiology are organized to discuss common issues.

The next meeting of the Committee takes place in early June. At this stage the reports from the external referees have been received and scrutinized by the Committee. Before the meeting a "Hearing together" with the Physics Class is arranged. Here different general issues, which are important for the Committee work, are taken up and discussed. During the following Class meeting the Chair of the Committee presents a summary of the reports received from the external experts and then describes the plans for the Committee's continued work.

In their closed meeting the Nobel Committee decides how to organize the writing work of the report that has to be produced. This report, produced each year, should eventually become a detailed summary of the deliberations made by the Committee ending with their suggestion of the Nobel laureates for that year.

4 The Work over the summer

The Committee members use the summer for individual writing and at the end of July the Secretary puts all parts of the future report together. What is perhaps the most important meeting of the Committee is then organized as a two-days seminar. On this occasion the tradition is that the Committee members try to meet at a relatively remote place where they may work without being disturbed or recognized. They have over the years been at

several different places in Sweden, for example in a lighthouse, a former bunker, in a small village in mid-Sweden and in the vicinity of Alfred Nobel's home in Bofors.

As Chairperson, the task of finding a suitable place for the 2012 work was entrusted to me. The Committee had until then always had this meeting in Sweden, but this is not a must. So, as a great fan of Italy I thought about San Remo. I may mention that every year at the Nobel Ceremony both the Concert Hall and the City Hall are beautifully decorated with flowers given by the city of San Remo. So, we decided to go there and we found a very nice hotel with a calm (hot) meeting room. During a break in our work we also took the opportunity to visit Villa Nobel as shown in fig. 4.

During this meeting every page of the report was read jointly, discussed and polished. During the meeting we also reached agreement about our proposal for subject and laureates of the 2012 Nobel Prize for Physics. After the meeting in San Remo the changes in the text were introduced and a next to final version was sent out to the Committee within about a week. Then we met once more in Stockholm, about two weeks later, to finalize our report and to sign our proposal for laureates. This second August meeting is to a large extent the final working meeting for the entire Committee. To celebrate this event we ended the meeting traditionally with a dinner at one of the best restaurants in Stockholm. The report, called Kapprock in Swedish, was then distributed to the Physics Class.

The report is filed at the Academy and is, together with all minutes of our deliberations, kept secret for the coming 50 years.

5 Deliberations with the Physics Class

When the final version of the report has been sent to the members of the Physics Class, a meeting with them is arranged in the first half of September. On this occasion the Chair of the Committee presents a detailed overview of the deliberations made by the Committee and presents the main parts of the written report, ending by presenting the proposed prize and laureates. Directly after this talk one member of the Committee gives a more

Fig. 4 The 2012 Nobel Committee for Physics outside Villa Nobel in San Remo (photo: L. Bergström).

detailed expert report about the proposed prize. After that the Physics Class and the Committee discuss the Committee work in general and the proposal of the laureates in particular. There is no final decision taken during this meeting. This is instead done some two weeks later when a second September meeting is organized. At this meeting a final decision is taken. The Physics Class may then agree that the proposal made by the Committee should be considered as a joint proposal from the Committee and the Physics Class to be proposed to the Royal Swedish Academy. A short motivation of the decision to be given at the announcement of the prize in the coming October is also decided upon. It should be mentioned that, in principle, the Class might disagree and propose alternative laureates. Then they have to present their own proposal as an alternative in the meeting with the Academy.

6 The announcement of the Nobel Prize

The announcements of the Nobel Prizes are done in the second week of October and the day for the Physics Prize is Tuesday. The period from the second of September meetings between the Physics Class and the Committee was, as usual, a very hectic time for me as the Committee Chair, the Committee Secretary and the experts on the subject matter. We had to prepare talks to be given at the press conference during the announcement of the prize. There should be a written press release, a popular description of the prize and a scientific background material. All this had to be available on October 9. The experts from the Committee together with myself also had to prepare presentations similar to those presented for the Physics Class in September, but now adapted to a much broader audience – the whole Academy. All this had to be done discretely so that no one could see us travelling together to Stockholm and visiting the Academy together. For the writing and the media training, which we have to go through, we also used some hotels in my hometown Göteborg where we could work discretely.

On October 9, at 9.30 am, the general presentation for the Academy was given, the laureates were proposed and the experts gave the scientific background. The Academy endorsed our proposal. It was a great feeling to realize that we just had decided to award the 2012 Nobel Prize in Physics to Prof. Serge Haroche, France and Prof. David J. Wineland, USA ''for ground-breaking experimental methods that enable measuring and manipulation of individual quantum systems''

After the decision the members of the Academy went to a joint lunch without any possibility to connect with the outer world. This is done since it is important that the laureates first get the good news directly from us. We in the Committee went instead to a small meeting room together with the Permanent Secretary of the Academy and his secretary. There we first had a quick sandwich-lunch and then we started make phone calls to the laureates. This is generally a very special event, both touching and amusing.

It was trilling to hear the ring-tone and then getting the answer:

"Hello?"

The secretary of the Permanent Secretary of the Academy then said:

''Is this Prof. Haroche"?

''Yes"

''Prof. Haroche you have a very important telephone call from Stockholm, Sweden. Please don't hang up; I switch now over to a conference telephone. ''

The Permanent Secretary was then first to give the good news about the decision made by the Academy and congratulated Prof. Haroche. Then we in the Committee also had the opportunity to congratulate and chat with him. After also having woken up Prof. Wineland, in the early morning in the US, it was time for us to go to the press conference. We went into the beautiful session chamber at the Academy, where the walls are covered with paintings of important former members of the Academy. Journalists, radio- and TV-teams from all over the world were, as usual, around. After the presentation and a direct telephone interview with Serge Haroche, there were dozens of interviews in which all the Committee members and other Physics Class members were involved.

7 The Nobel Ceremony

The laureates arrive at Stockholm about a week before the prize award ceremony. From their arrival they have a very heavy programme with interviews, receptions and dinners. They also give their Nobel talks at the AlbaNova University Centre, Stockholm Centre for Physics, Astronomy and Biotechnology, where a packed auditorium awaits them.

The magic day is, of course, December 10. Ever since 1901, the Nobel Prizes have been presented to the Laureates at ceremonies on the 10th of December. The prizes are awarded in Stockholm, except for the Nobel Peace Prize, which is awarded in Oslo, Norway. The Prize Award Ceremony in Stockholm has, almost without exception, taken place at the Stockholm Concert Hall since 1926.

At the Prize Award Ceremony in Stockholm, presentation speeches praise the Laureates and their discovery or work. The speech I gave last year started as follows (the speech was given in Swedish):

"*Your Majesties, Your Royal Highnesses, Ladies and Gentlemen.*

In his epilogue at the Master's Degree Celebration in Lund 1820, Professor Esaias Tegnér, also a famous poet and author, said

This is Man's wonderful ability
to be able to grasp the inner essence of phenomena,
not what they appear to be, but what they mean,
and the reality that we see with our eye
is a symbol only of something higher.

What is it that our eyes see? It is light. Everything we see around us – colours, shapes, and objects – comes from light that strikes our eyes…"[1]

After the speech the laureates were asked to step forward and receive the Nobel Medal, Nobel Diploma and a document confirming the Nobel Prize amount from the hands of His Majesty King Carl XVI Gustaf of Sweden.

After the Ceremony there was a banquet at the Stockholm City Hall for about 1300 people, including 250 students. With a few exceptions, the Nobel Banquet has taken place at the City Hall since 1930.

8 Nobel Prizes in Physics

I end this article with some statistics: The Nobel Prize in Physics has been awarded 106 times to a total of 194 Nobel Prize winners from 1901 to 2012. John Bardeen is the only Nobel Laureate who has been awarded the Nobel Prize in Physics twice, in 1956 and 1972. This means that a total of 193 people so far have received the Nobel Prize in physics.
Only two women have so far received the Nobel Prize in Physics, Marie Curie (1903) and Maria Goeppert Mayer (1963).

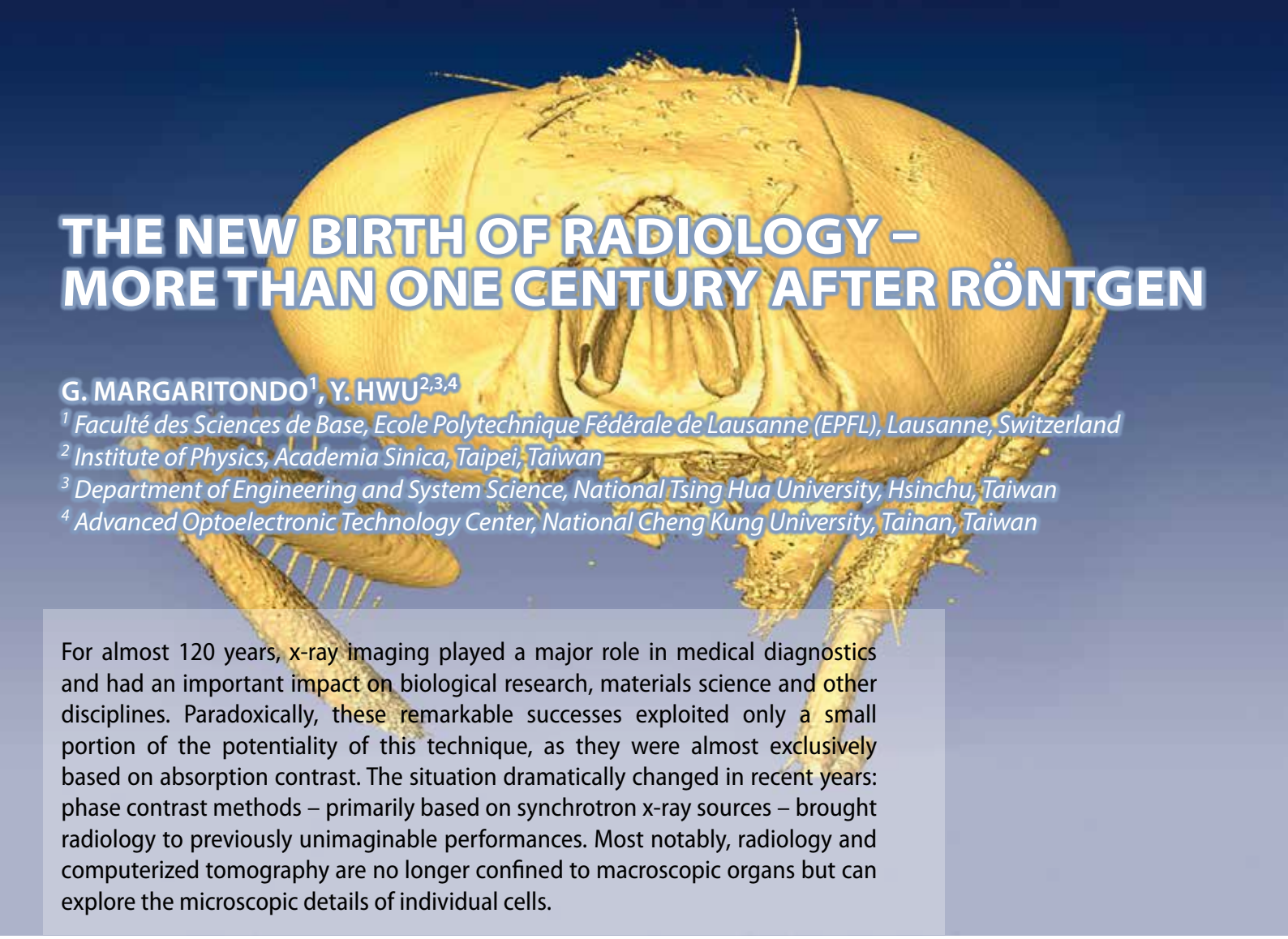
There can be one, two or three laureates. Over the years there has been one single winner on 47 occasions, two winners on 30 occasions and three winners on 29 occasions.

Björn Jonson

Björn Jonson, born in Sävsjö, Sweden, is presently Professor of Physics at Chalmers University, Göteborg. Since 1970 he has been working at CERN, Geneva, with different roles from NFR Research Associate to Senior Staff Member. His main research areas are radioactivity, nuclear structure, beta decay, exotic decay modes, properties of far unstable nuclei, X-rays and neutrino masses.
He has been Member and Chair of various scientific committees at CERN, GANIL, GSI, ISOLDE, Member of NuPECC (Nuclear Physics European Collaboration Committee) and IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics), and Chairman of the Swedish Physical Society . He also had several responsibilities within the Royal Swedish Academy of Sciences among which, from 2006 to 2012, that of Member of the Nobel Committee for Physics , which he also chaired in 2012.

[1] The English translation of the entire talk may be found at
http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2012/presentation-speech.html

© Nobel Media. Photo: Alexander Mahmoud



THE NEW BIRTH OF RADIOLOGY – MORE THAN ONE CENTURY AFTER RÖNTGEN

G. MARGARITONDO[1], Y. HWU[2,3,4]

[1] *Faculté des Sciences de Base, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland*

[2] *Institute of Physics, Academia Sinica, Taipei, Taiwan*

[3] *Department of Engineering and System Science, National Tsing Hua University, Hsinchu, Taiwan*

[4] *Advanced Optoelectronic Technology Center, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan*

For almost 120 years, x-ray imaging played a major role in medical diagnostics and had an important impact on biological research, materials science and other disciplines. Paradoxically, these remarkable successes exploited only a small portion of the potentiality of this technique, as they were almost exclusively based on absorption contrast. The situation dramatically changed in recent years: phase contrast methods – primarily based on synchrotron x-ray sources – brought radiology to previously unimaginable performances. Most notably, radiology and computerized tomography are no longer confined to macroscopic organs but can explore the microscopic details of individual cells.

1 1895: Röntgen's discovery revolutionizes medicine

On December 1895, William Röntgen announced [1] that a Crookes tube produced a previously unknown type of radiation activating a faraway fluorescent screen. He christened this mysterious radiation "x-rays" and found that solid objects did not stop them. The existence of x-rays finally explained a series of puzzling phenomena observed in the two previous decades, after the invention of the Crookes tubes.

Röntgen was very quick in implementing the first medical tests of his discovery. The radiograph of his wife's hand became an icon of science. The potential applications triggered a very rapid propagation around the world of the news about the new radiation. Many science leaders of the time became involved in x-ray research. As a byproduct, this notably led to Becquerel's discovery of radioactivity and, ultimately, to quantum physics.

Technological developments were also very rapid. The first medical use of radiology occurred in the month following Röntgen's announcement. But the early years also saw [2] extravagant "applications" of x-rays such as carnival shows, exposures for alleged health benefits and tests for fitting shoes!

The impact of x-ray imaging went beyond science and technology: the images of the skeletons of living human beings brought a philosophical message about mortality. In Röntgen's wife's words: "I have seen my death". Not surprisingly, the very popular discovery was rewarded with the first Nobel prize in physics.

The following century produced many landmark advances in radiology. Most notable was the development by Robert Ledley of computerized tomography (CT or CAT). However, notwithstanding the gigantic efforts invested in this field, radiology did not overcome some major barriers. For example, it has not yet led to the systematic screening of critical diseases such as cancer or cardiovascular problems.

Such barriers are related to a fundamental dilemma. x-ray exposure is known to cause diseases: for each use, one must find a balance between risks and benefits. This balance is a moving target: it depends on image contrast, which is continuously improving thanks to new techniques and new instruments.

Until recently, however, the progress in radiology contrast took place in a limited framework: absorption differences

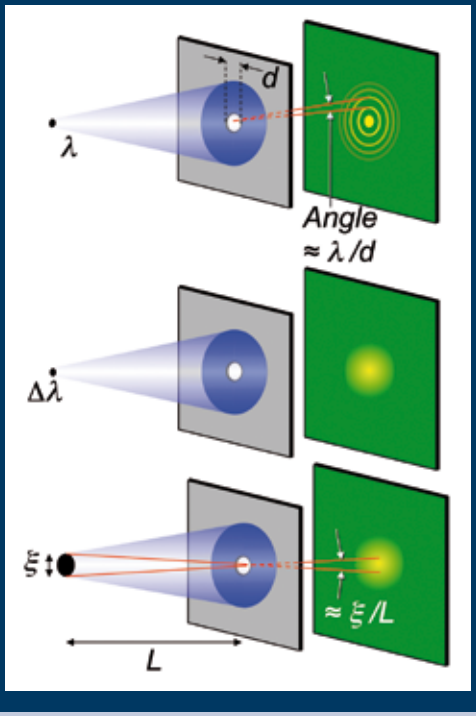


Fig. 1 Diffraction by a pinhole illustrates the two aspects of coherence. Top: a monochromatic point source produces a sharp diffraction pattern. The angular distance between two adjacent fringes is $\approx\lambda/d$. Middle: a source with finite bandwidth produces a blurred patter – in which the pattern features may no longer be visible. Bottom: an extended source can also make the diffraction pattern undetectable. Each point of the source gives indeed a diffraction pattern with a different center. The maximum angular distance between these centers is $\approx \xi/L$.

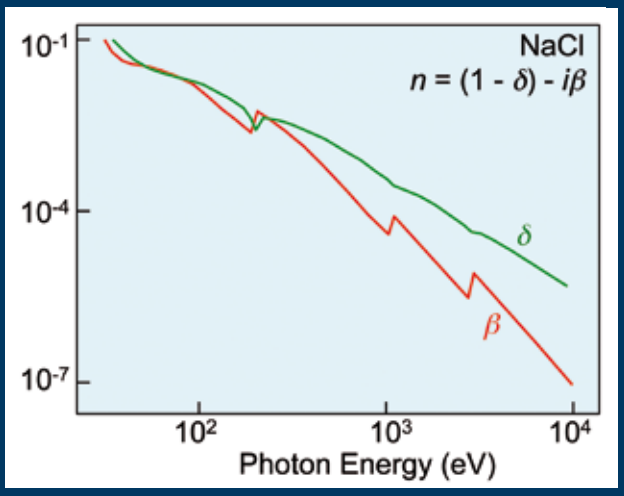


Fig. 2 The real and imaginary parts of the index of refraction of NaCl. Image based on data from the Center for x-ray Optics (ref. [3]).

between different parts of the object. This exploited only one of the several mechanisms potentially contributing to the image formation.

2 From absorption contrast to phase contrast

To grasp the problem, a comparison with visible light imaging is quite useful. In everyday life, we "see" things by exploiting a variety of physical mechanisms, such as absorption and reflection. But these seldom include diffraction, a phenomenon related to the phase of the light waves. Indeed, detecting phase-related effects is difficult if the wave is not "coherent" – and light around us, either natural or artificial, has often limited coherence.

Diffraction by a pinhole of diameter *d* (fig. 1) provides a simple way to analyze this point. Monochromatic light emitted by a point source produces a sharp diffraction pattern. Light with a finite wavelength bandwidth $\Delta\lambda$ produces a blurred pattern: for a large bandwidth, the pattern is no longer visible. Likewise, a finite area of the source also causes blurring and can make the pattern undetectable. One can thus realize that there are two kinds of coherence, "longitudinal" and "lateral", linked to the monochromaticity and to the source geometry.

When the visible light is coherent and phase-related effects like diffraction are exploited for imaging, the delivered information sharply increases. Perhaps the best-known example is that of holography.

The above analysis can be extended to x-rays, but with some fundamental differences. Reflection does not really play a role since it is extremely weak except at very low glancing angles, quite irrelevant for imaging. Absorption is much weaker than for visible light. This is an advantage since it allows penetration and the observation of the inside of objects. But it is also a limitation since weak absorption implies weak absorption contrast.

What about phase contrast? In general terms, the related effects are also weaker than for visible light. However, they are comparatively stronger than absorption. This makes the case for phase contrast even more compelling for x-rays than for visible light.

This last point is illustrated by fig. 2, which shows for NaCl [3] the imaginary part of the refractive index – related to absorption – and the deviations from unity of its real part, corresponding to phase effects – both as a function of the wavelength. One sees that for x-rays the second parameter is larger than the first. Also note that both parameters have peculiar features near the x-ray absorption edge of Na and Cl, the chemical components: this opens up interesting possibilities for composition-sensitive imaging techniques.

Can then phase effects be put to good use for radiology? Before discussing the issue in detail, we would like to show in fig. 3 a practical example: one of the first phase contrast results, obtained at the Elettra synchrotron laboratory [4]. The differences between the absorption contrast image and the phase image are striking and provide a powerful message in favor of the latter.

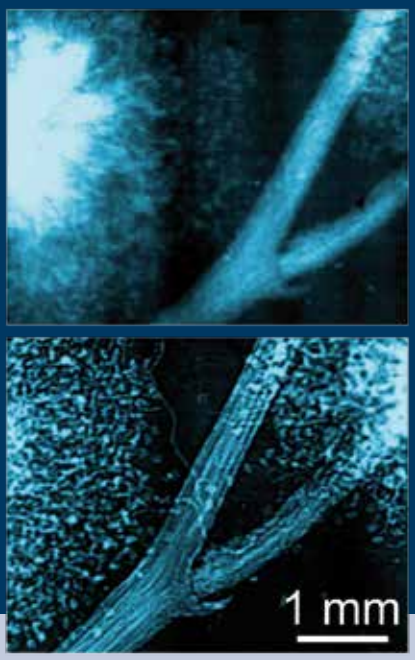


Fig. 3 An early result in phase contrast radiography by Giuliana Tromba and coworkers: comparison between the absorption contrast image (top) and the phase contrast image (bottom) of a mimosa flower. Modified picture with permission of G. Tromba (see ref. [4]).

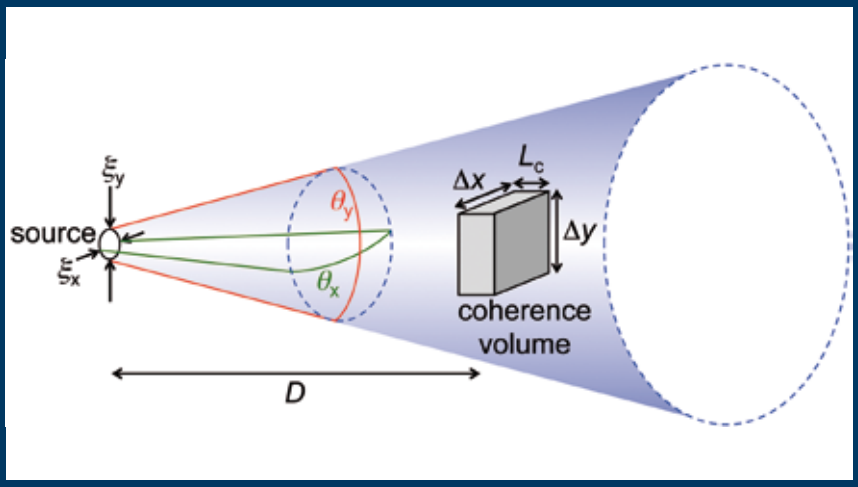


Fig. 4 Parameters used in the definition of the coherence volume and of the related quantities.

Why then phase contrast radiology is used only in a tiny minority of the cases? One can easily guess that the problem is coherence.

We can be more specific by using quantitative assessments of the two kinds of coherence. Consider first longitudinal coherence. Referring to fig. 1 (top), the angular distance between two adjacent fringes in the circular diffraction pattern is $\approx \lambda/d$ radians. If the wavelength is "blurred" by $\Delta\lambda$, this angular distance is "blurred" by $\Delta\lambda/d$. When this blurring is comparable to the distance between adjacent fringes, the pattern is no longer detectable. Hence, the longitudinal coherence condition is $\Delta\lambda/\lambda << 1$.

This simple result gives useful hints for x-rays. For a good longitudinal coherence, one needs a small $\Delta\lambda$. But conventional x-ray sources (anodes) have fixed and not so small bandwidths. Synchrotron sources are much better: some of them (undulators) have narrow bandwidths [5]. In general, for all synchrotron sources the emitted power is so high that one can filter the x-rays with a monochromator and obtain a narrow bandwidth while still getting a high flux.

Concerning the lateral coherence and referring again to fig. 1 (bottom), consider an extended source of width ξ. Each source point causes a diffraction pattern and one sees the superposition of all of them. In this superposition, the pattern fringes may or may not remain visible. The maximum angular distance between the centers of individual patterns is $\approx \xi/L$, where L is the source-slit distance. The fringes cease to be detectable if ξ/L is comparable to the angular distance between adjacent fringes, λ/d.

Thus, the condition for lateral coherence is $\xi\,(d/L) \leq \lambda$. Note that the small wavelength makes this condition much more difficult to achieve for x-rays than for visible light.

To further clarify this point, take the limit case $\xi\,(d/L) = \lambda$. Note that (d/L) approximately equals the angular spread of the emitted light that illuminates the pinhole and therefore contributes to the diffraction. Thus, if the source has an overall angular spread θ, only a fraction $(d/L)/\theta = \lambda/(\xi\theta)$ of the emission participates to the diffraction.

This result has interesting implications: to optimize the visibility of the diffraction, we need a source with a small size ξ and a small angular spread θ. This is problematic with conventional x-ray sources, which have a large emitting area and a very large angular spread. The emission mechanism of synchrotron sources, on the contrary, produces very small values of ξ and θ [5].

The technical progress of synchrotron sources actually targeted the so-called "brightness", which is proportional to the flux divided by $(\xi\theta)$. The brightness was boosted by minimizing the geometric factor $(\xi\theta)$, and the byproduct was high lateral coherence.

The end point of this optimization is Abbe's diffraction limit, $\xi\theta \approx \lambda$, which gives full lateral coherence. Modern synchrotron sources achieve this limit in a large portion of their emitted spectrum.

A slightly more sophisticated treatment (see insert I) confirms the qualitative conclusions of these simple arguments. Such arguments explain, in particular, why phase contrast imaging was made possible by the constant

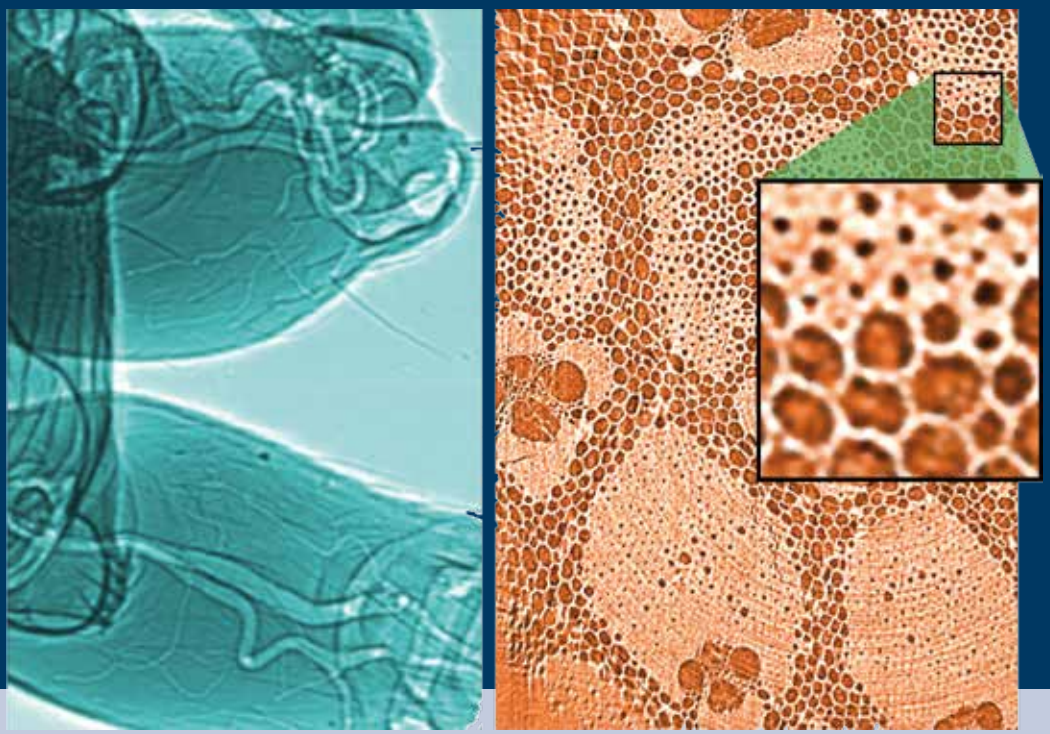


Fig. 5 Examples of phase contrast radiology: leg of a housefly and a wood section revealing individual cells.

improvement of synchrotron sources. Efforts are underway to implement this approach with laboratory-based sources [6], with obvious advantages in cost and flexibility. But most applications still require the advanced characteristics of synchrotrons.

Insert I: Coherence

The notions of longitudinal and lateral coherence are best understood in terms of the Heisenberg principle. Considering the propagating radiation as a photon beam, its coherence is characterized by the so-called "coherence volume" V_c (see fig. 4). Quantum physics tells us that photons act coherently over distances corresponding to Heisenberg's uncertainty. This point can be understood, for example, using Young's slit diffraction. Any attempt to localize the photons within an uncertainty smaller than the slit distance perturbs the momentum direction and jeopardizes the diffraction pattern.

Heisenberg's principle thus determines the lateral and longitudinal dimensions of V_c. For the longitudinal (propagation) direction, we can use the energy-time form of Heisenberg's principle, $\Delta h\nu \Delta t \approx h$. The longitudinal size of V_c is L_c, the "coherence length". Note that $L_c = c\Delta t = ch/\Delta h\nu = c/\Delta\nu$. In terms of the wavelength spread, $\Delta\nu = \Delta(c/\lambda) = c\Delta\lambda/\lambda^2$, thus

$$L_c = \lambda^2/\Delta\lambda \,. \qquad (1)$$

For the lateral coherence in the (transverse) direction x, we can use the momentum-position form of Heisenberg's principle, $\Delta p_y \Delta x \approx h$. With a source of x-size ξ_x at a distance D from the coherence volume, the lateral uncertainty of the momentum (of magnitude h/λ) is $\Delta p_x \approx (h/\lambda)(\xi_x/D)$. This gives $\Delta x \approx \lambda D/\xi_x$. The same argument applies to the transverse direction y, so the transverse section of the coherence volume, the so-called "coherence area", is

$$S_c = \Delta x \Delta y \approx \lambda^2 D^2/(\xi_x \xi_y) \approx \lambda^2 D^2/A \,, \qquad (2)$$

where A is the source area.

Note that if $\theta_x\theta_y$ is the (solid) angular divergence of the source, then only a fraction $\approx S_c/(\theta_x\theta_y D^2)$ of the total emission illuminates the coherence volume and therefore participates to phenomena that require coherence. This is the "coherent power". Using eq. (2), we have

$$\text{Coherent power} \approx \lambda^2/(\theta_x\theta_y A) \,. \qquad (3)$$

The above results qualitatively confirm the conclusions of our previous simplified arguments: since all the parameters defining the longitudinal and lateral coherence are proportional to λ^2, their optimization is much more difficult for short-wavelength x-rays than for visible radiation. Longitudinal coherence increases as the bandwidth $\Delta\lambda$ decreases. And lateral coherence increases as the source area and angular divergence decrease.

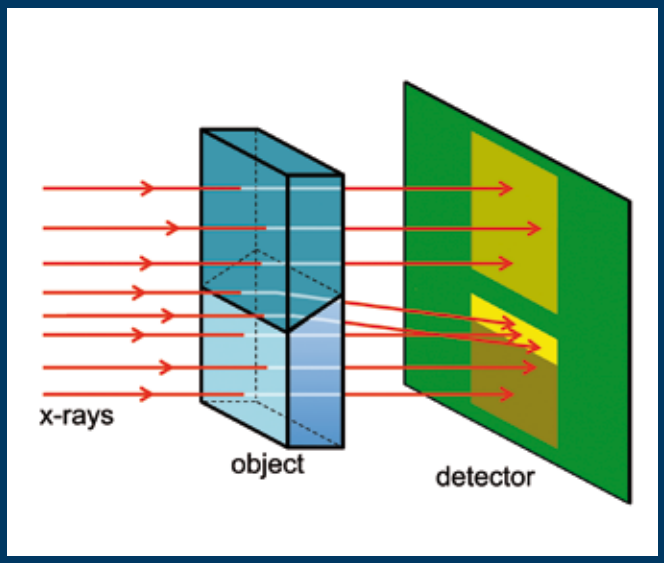


Fig. 6 A simplified explanation of the edge enhancement often produced by phase contrast.

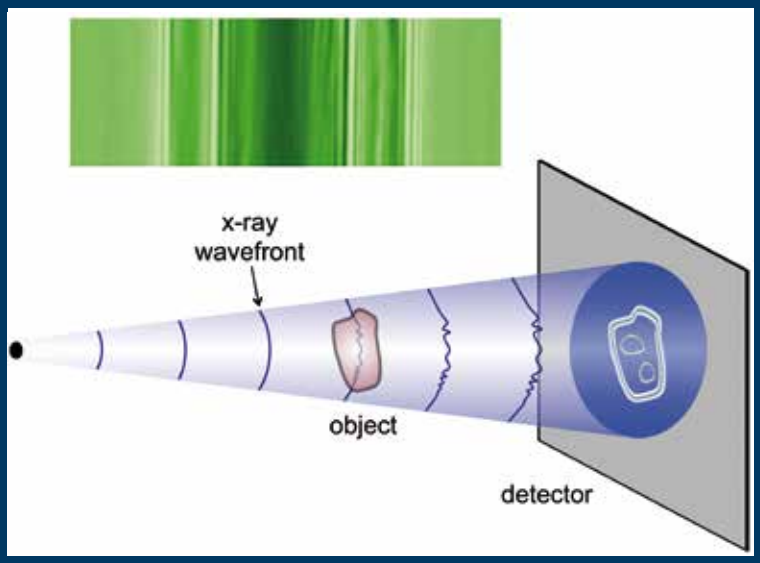


Fig. 7 Top: in this radiograph of an optical fiber, the edges exhibit multiple fringes rather than bright-dark fringe pairs. This is explained in simple terms – see ref. [7]. Bottom: in general terms, the multiple fringes are an example of in-line contrast imaging. The wave amplitude and its phase are modified as it passes through the object.

3 A simple case: refraction-induced edge enhancement

Figure 5 shows two examples of phase-contrast radiographs from our own research [7]. They all exhibit a characteristic feature that suggests a simplified description to the contrast mechanism [7]. The details of the images are quite sharp because of the enhancement of the edges between different regions of the specimens. A close analysis reveals that in most cases the enhanced edge actually includes a pair of dark-bright fringes.

This point can be explained [7] in very simple terms, as shown in fig. 6. Here we see an idealized object with two different regions separated by a slanted edge. In the image regions far from the edge, x-rays are not deflected and produce a flat intensity – with a small difference between the two regions, which is caused by their different absorption coefficients. At the edge, however, refraction deviates the x-rays and produces the characteristic dark-bright fringe pair.

This approach is conceptually oversimplified but has the merit of being easily understandable even for non-physicists. This is a non-negligible advantage since the typical users of radiology are from other disciplines. Not surprisingly, the majority of the images produced so far by phase contrast radiology are taken and interpreted in the edge-enhancement framework.

4 A variety of phase contrast radiology techniques

Edge enhancement, however, is a very oversimplified and incomplete picture of phase-based radiology [7]. Figure 7 (top) shows a typical case in which this phenomenon alone cannot explain the experimental observations. Instead of a dark-bright fringe pair, we see at each edge a series of fringes.

This phenomenon can be also understood with a simple model [7]. In essence, it is the counterpart of the diffraction fringes seen at the edge of the image of an opaque object illuminated by coherent visible light. The difference is that here there is no opaque object since all parts of the object are partially transparent for x-rays.

The interplay between the two regimes – fringe pairs and fringe series – was discussed in very simple terms in ref. [7]. The experimental geometry – and specifically the distances between source, detector and specimen – determine which one of the two regimes dominates. By adjusting these parameters, one can thus select the regime of operation. In many cases, the preference is for the "fringe pair" case, which gives images easier to interpret.

The multiple-fringe systems, however, carry sophisticated information about the structure of the diffracting object: they are, in fact, holograms. In principle, one could extract the information by mathematical algorithms. In practice, however, one must overcome challenging obstacles.

The key one is the phase problem: the experiments detect intensities and not directly phases. We thus need clever

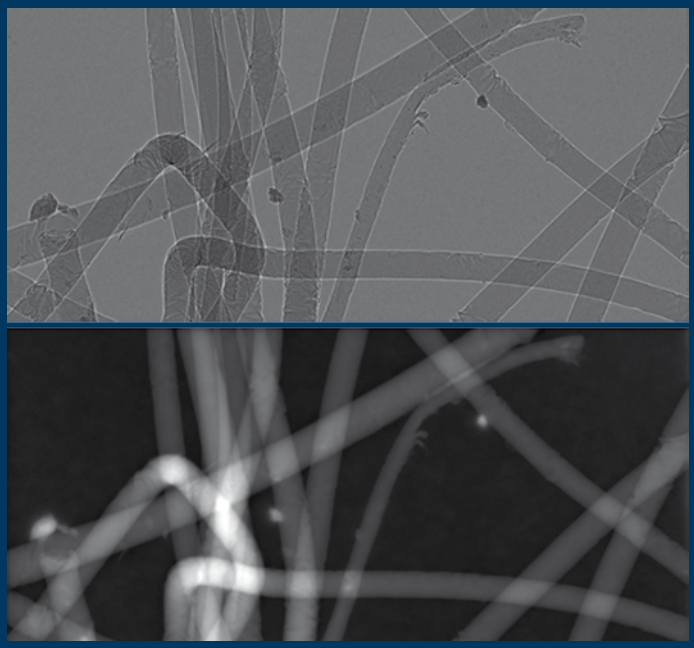


Fig. 8 Top: in-line phase contrast x-ray image of a paper scaffold consisting of 20 μm diameter polymer fibers. Bottom: results of phase retrieval from the same image. Results from ref. [6]. *In using these results, we would like to express our admiration and gratitude to one of its co-authors Dr. Steve Wilkins, a pioneer and a pillar of our domain, whose recent premature death was a terrible loss.*

strategies to determine the phase properties.

Major efforts devoted to solving this problem yielded a series of different approaches [8] that we briefly review here. Note that the field is very rich and rapidly evolving: an exhaustive presentation is not our scope. We would like instead to discuss the general groups of techniques and show some representative examples.

Roughly speaking, there are five different groups of techniques [8]: in-line phase contrast imaging, Zernike techniques, direction filtering by crystal diffraction, direction filtering by gratings and scanning differential phase contrast imaging. We will see now their main features.

4.1 In-line phase contrast imaging

Figure 7 (bottom) illustrates the general principles of this group of techniques. The wavefront of the radiation is modified when it passes through the object, and this affects both the amplitude and the phase. A detector downstream the object collects a projection image. In principle, this image contains information both on the intensity attenuation and on the phase changes – that can be used to extract the properties of the object and in particular its structure. The multiple-fringe image at the top of fig. 7 is a very simple case of in-line contrast imaging.

In general, extracting this information is not straightforward, primarily because of the phase problem – and several different strategies have been proposed and implemented [8-12]. The conceptual background is provided by the "transport of intensity equation", treated by Nugent *et al.* [9]:

$$(4) \qquad (2\pi/\lambda)(\partial I/\partial z) = -\nabla_{\perp} \cdot (\lambda \nabla_{\perp} \Phi) \,,$$

where z is the longitudinal (propagation) direction, $I(x, y, z)$ is the intensity distribution, $\Phi(x, y, z)$ the phase distribution and $\nabla_{\perp}$ is the gradient in the transverse xy-plane. This equation shows that, in principle, one can retrieve from the intensity measurements provided by the detector information on the lateral distribution of the intensity and therefore on the object that causes such distribution.

Many different methods have been exploited to implement this strategy [8]. Typically, they require collecting images at several different distances between the object and the detector (along the z-axis), or at several different wavelengths. From these multiple images one can extract information on the longitudinal derivative of the intensity and, as shown by eq. (1), retrieve the phase information.

Figure 8 shows an example [6] of the applications of this group of techniques. In general, the lateral resolution that can be obtained in these techniques is dominated by the resolution of the detector.

4.2 Zernike imaging

Techniques in this group are directly related to the phase contrast microscopy developed by Frits Zernike [13,14] for visible light. As illustrated by fig. 9 (top), their strategy is to enhance the contrast produced by the radiation scattered by the object by artificially inducing a phase shift in the

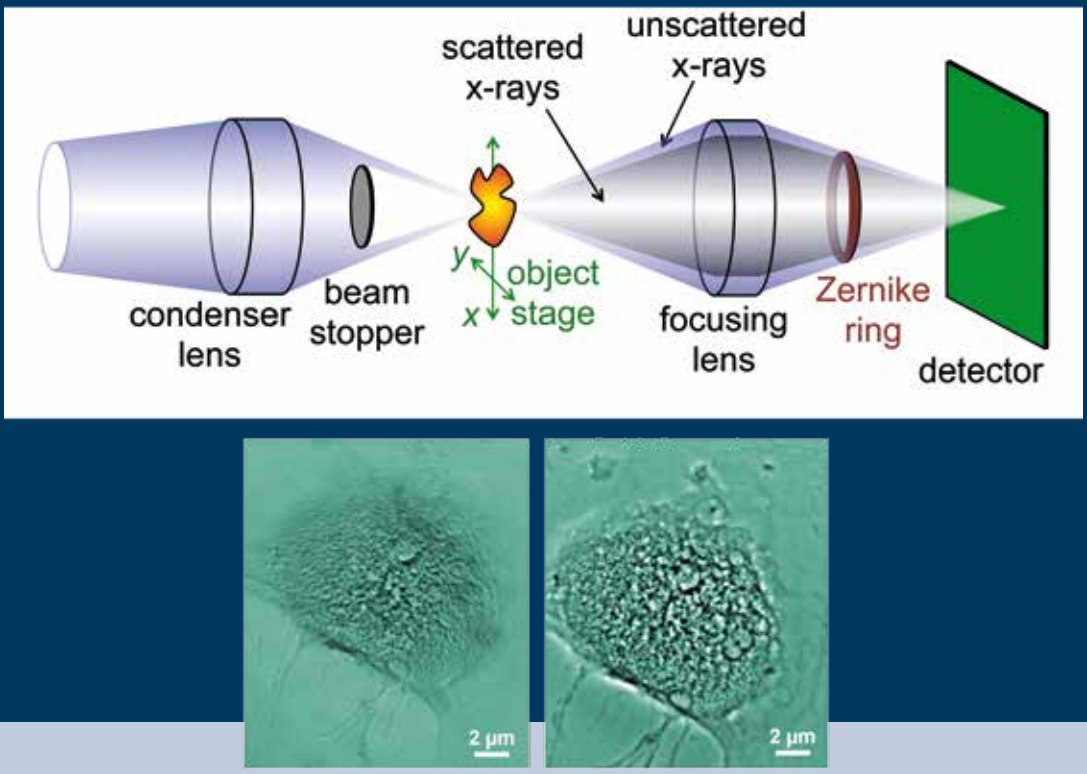


Fig. 9 Top: scheme of a Zernike x-ray microscope. In the case illustrated here, the image is obtained by scanning the object with respect to the beam in the *x-y* plane. Bottom: Radiographs of an EMT cell taken without (top) and with (bottom) a Zernike phase-shifting ring. Data from ref. [14].

unscattered radiation. The combination of the scattered radiation with the phase-shifted unscattered radiation produces strong intensity modulations with respect to the background caused by the latter. This enhances the visibility of the object details over the background.

As seen in fig. 9, the optical system limits the x-rays illuminating the object to a hollow cone. After the object, the unscattered x-rays are again confined to hollow cones and forced to pass through the phase-shifting "Zernike ring", placed in the back focal plane of the focusing lens. The scattered x-rays can instead follow different directions and avoid the phase shift.

This approach is typically used for highly transparent objects, so that the scattered light has weak amplitude. The scattering changes the phase of the wave, typically by an amount close to $\pi/2$. Without the Zernike ring, the unscattered and scattered waves at the detector would have a phase difference $\approx \pi/2$. This would minimize the amplitude change with respect to the background, caused by unscattered light (see Insert II) – and sharply limit the intensity contrast.

With the Zernike ring, the phase of the unscattered light is shifted by $-\pi/2$, so that the phase difference between of scattered and unscattered waves is close to π. This is the condition for destructive interference: the object details thus correspond in the image to features darker than the background, with a strong increase in contrast. A rarely adopted alternative is a Zernike-ring-induced $+\pi/2$ shift, so that the combination is constructive and the object features in the image are brighter than the background

Insert II: Zernike phase contrast

The principles of Zernike microscopy [13, 14] can be understood with very simple formalism. Assume that there is no Zernike ring and that the unscattered waves at the detector are proportional to $A\exp(i\Phi)$, with intensity proportional to A^2. A scattered wave with a typical $\pi/2$ phase shift is then proportional to $B\exp[i(\Phi+\pi/2)] = iB\exp(i\Phi)$, where $B << A$ is the scattered amplitude. The combination of scattered and unscattered waves is proportional to $A\exp(i\Phi) + iB\exp(i\Phi) = (A+iB)\exp(i\Phi)$. The corresponding intensity is proportional to $A^2 + B^2$, quite close to A^2: the intensity modulation is weak and so is the image contrast.

Now add the Zernike ring that shifts by $-\pi/2$ the phase of the unscattered wave – which becomes proportional to $-iA\exp(i\Phi)$. The background intensity is still proportional to A^2. The combination of scattered and unscattered waves is proportional to $i(-A+B)\exp(i\Phi)$ and the corresponding intensity is proportional to $(A-B)^2 \approx A^2 - 2AB$. The intensity decrease with respect to the background is linear rather than quadratic in B, thus causing a stronger contrast than in the previous case.

Alternatively, if the Zernike ring shifts the unscattered-wave phase by $+\pi/2$, then the intensity is proportional to $\approx A^2 + 2AB$, again with a variation linear in B.

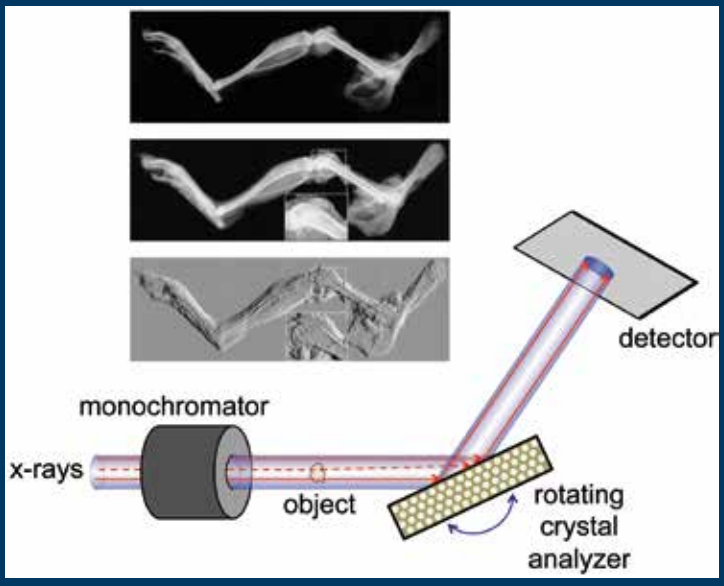


Fig. 10 Bottom: schematic picture phase contrast imaging methods based on direction filtering by a crystal. Top: Radiographs of a mouse leg: top, a conventional radiograph; middle: a crystal-analyzer image with orientation corresponding to the peak of the rocking curve; bottom; a DEI refraction image. Data from ref. [16].

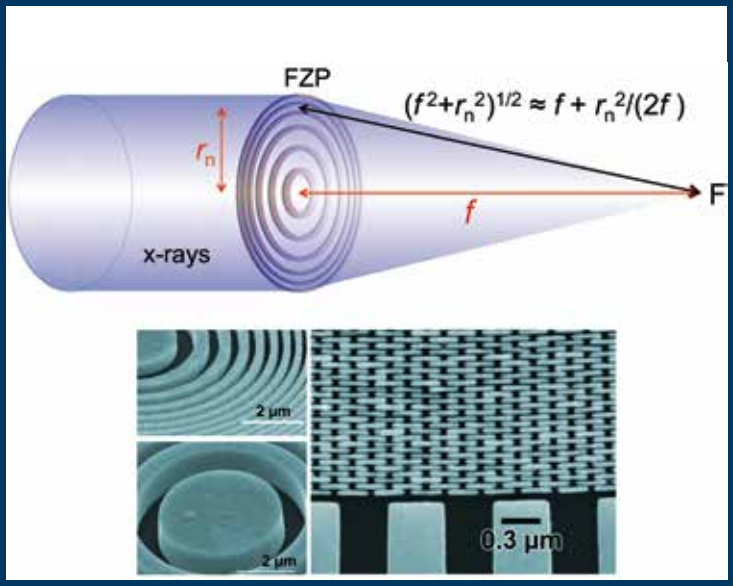


Fig. 11 Top: scheme of a Fresnel zone plate (FZP); bottom: images of high-quality FZPs with thin outermost zones and high aspect ratios, from ref. [22].

Invented by Zernike for visible light [13], in recent years the technique was successfully applied to radiology. As shown in fig. 9, its implementation requires an objective lens in the optical system. This is not a trivial issue for x-rays, since standard refractive lenses do not work in their spectral range. Fresnel zone plates provide the solution, as discussed later.

A typical material to fabricate the phase ring [14] is electroplated Au on a silicon nitride membrane. The phase shift is controlled by adjusting the thickness of the ring.

The results of Zernike radiology are quite spectacular. Figure 9 (bottom) presents an example [14], clearly showing the impact on contrast of the phase ring. More quantitative measurements of the contrast [14] fully confirm this conclusion.

4.3 Phase contrast imaging with direction filtering by crystals or gratings

These two groups of techniques have somewhat similar characteristics: they translate the small deviations of x-rays by the object features into sharp image intensity modulations by using very selective direction filters. Consider, first, the case of fig. 10 (bottom). A beam of monochromatized x-rays of well-defined wavelength reaches the object. A portion of the radiation, *e.g.*, the dashed red ray, is slightly deviated due to refraction by the object features.

Between the object and the detector, there is a high-quality rotatable single crystal acting as direction analyzer. The crystal is oriented to be close to the conditions for Bragg reflection of the x-rays.

Assume, first, that the Bragg condition is accurately satisfied by the x-rays that are not refracted by the object (the solid red lines). Then, these rays are Bragg-reflected and reach the detector. On the contrary, x-rays deviated by the crystal are not Bragg-reflected at all or Bragg-reflected with weaker intensity.

The Bragg-reflected intensity as a function of the angle with respect to the perfect conditions is called the "rocking curve". This is a very narrow peak: only rays with directions very close to its center are partially Bragg-reflected. The others are practically eliminated. Thus, the image on the detector is only formed by unscattered rays: this is an absorption contrast image with much reduced scattering background and therefore improved quality.

The advantages of the direction filtering, however, become really evident when the crystal is slightly rotated [8]. The rays that are not refracted by the object no longer satisfy the Bragg condition and therefore are not Bragg-reflected: they do not reach the detector. The deviated rays can be reflected according to the rocking curve. The image on the detector thus shows the effects of refraction by the detector over a dark background.

The narrow width of the rocking curve (typically milliradians) corresponds to high direction selectivity and to strong refraction-caused contrast. Many different varieties of this basic notion were implemented in recent years, capable in some cases of yielding information on the different aspects of the interaction between x-ray and the object – such as absorption and refraction [8].

In particular, one can select the geometry to coincide with steepest slope of the rocking curve to optimize the effects of refraction on the intensity of the image features [15,16]. This technique is known as "Diffraction Enhanced Imaging"

or DEI. Combination of images taken at symmetric angles with respect to the rocking curve peak can actually yield pure "refraction images". As shown in the top part of fig. 10, the DEI results can be quite impressive, in particular for biological specimens.

In the case of interferometer-based techniques, direction filtering is achieved [8, 17] by placing the object before two grating interferometers, the second of which is followed by the detector. The physical mechanism that causes direction filtering is the "Talbot effect" [8, 17]. Discovered for monochromatic visible light, this phenomenon is explained by Fresnel diffraction. When a monochromatic light of wavelength λ passes through a grating of period L, an image of the grating with the same period appears at a distance called the "Talbot distance", $2L^2/\lambda$. Images are also created at integer multiples of the Talbot distances, as well as at integer fractions of it. At one-half of the Talbot distance, the image is laterally shifted by $L/2$. At smaller integer fractional Talbot distances, the period of the image is a fraction of L.

In the standard configuration for grating-based x-ray imaging, the two gratings are placed at a fractional Talbot distance from each other, and the second grating has the same pattern as the fractional image of the first grating. Therefore, without the object the waves created by the first grating pass through the second one and reach the detector. When the object is present, it slightly perturbs the direction of the rays passing through it and therefore changes the fractional Talbot image. Rays that without the object would pass through the second grating can be partially blocked by it. This results in a high sensitivity in detecting the small changes in direction.

In turn, such changes are related to the local composition and shape of the object. It is thus possible to extract information on these features from the local intensity changes at the detector.

The actual implementation of this method involves a number of possible, approaches, with different levels of sophistication [8]. For example, the information on the object-induced phase variations can be separated from other factors by the so-called "phase stepping" method [18] – implemented, *e.g.*, by taking images while step-by-step laterally shifting one of the gratings over a total distance L.

4.4 Scanning differential phase contrast

This group of techniques combines phase contrast with the scanning mode of x-ray microscopy – which is implemented by focusing the x-ray beam into a small spot of the object and performing a two-dimensional scan of the object with respect to this spot. This mode has been widely used for absorption-contrast imaging [19].

Phase contrast can be achieved in scanning x-ray microscopy by using a segmented detector [8, 20], *i.e.*, a detector where different zones collect independently the diffracted intensity. Specific combinations of the different signals are then used to obtain different kinds of phase contrast images. For example, Horbeberger *et al.* [20] demonstrated that with a detector consisting of only five symmetric segmented zones one can implement brightfield and darkfield imaging as well as vertical and horizontal phase contrast imaging.

The technological progress provides now not only segmented but finely pixelated detectors with fast readout and excellent lateral resolution, boosting the capabilities of this group of methods. This stimulated the conception and implementation of a number of different techniques [8].

In principle, one does not need lenses to obtain images and three-dimensional reconstructions. Indeed, coherent diffractive imaging (CDI) is based on directly reconstructing such images from the diffraction patterns produced by illuminating the object with coherent x-rays. The reconstruction, however, requires solving the phase problem, which in turn necessitates sampling the diffraction pattern with high spatial resolution – using an advanced detector with sufficiently small pixels.

Interesting progress within this framework was recently produced by the alternate method [21] known as "ptychography". Originally invented for electron microscopy, this method is based on collecting a series of diffraction patterns; each pattern is produced when only a limited area of the sample is illuminated by a focused x-ray beam. Under the condition that the illuminated areas of different patterns sufficiently overlap each other, powerful algorithms can produce the reconstructed images with high resolution.

5 Hard-x-ray microscopy with Fresnel zone plates

It is quite clear from the previous discussion that coherence strongly improves the capability of x-ray imaging to detect object details on a very small scale. As we have seen, progress is produced by the advances in the detector technology and by clever experimental methods, coupled to innovation in reconstruction algorithms to retrieve phase information. In addition, another factor had a very strong impact: the technical progress in x-ray-focusing devices.

As already mentioned, the fabrication of such devices poses formidable technical problems. Due to weak refraction and reflection, the standard lenses and focusing mirrors used for visible optics do not work for x-rays.

Fresnel zone plates (FZPs) provide the best alternative

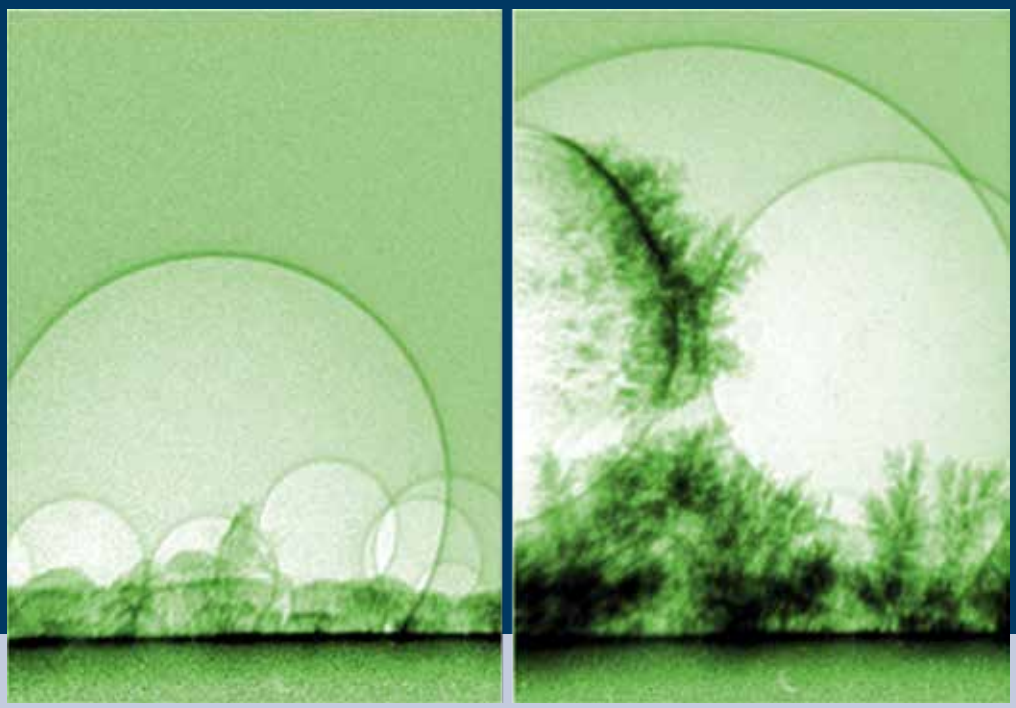


Fig. 12 X-ray microscopy reveals a totally unexpected phenomenon in the electrodeposition of a Zn overlayer on a Zn substrate. The overlayer grows not only on the metal substrate but also on the hydrogen bubbles created by the process. Data from ref. [24].

[22, 23]. The concept derives again from visible optics: a circular FZP (fig. 11) consists of a series of concentric zones, r_n being the n-th zone. In the series, there are alternating absorbing and transmitting zones; the x-rays passing through the transmitting zones can interfere constructively, concentrating the intensity on a focal point F at the distance f. If λ is the x-ray wavelength, the condition for constructive interference is

$$(f^2 + r_n^2)^{1/2} - f = n\lambda \,. \tag{5}$$

Since the x-ray wavelengths are small, r_n is quite close to f and eq. (5) becomes $f + r_n^2/2f - f \approx n\lambda$, or

$$r_n \approx (2n\lambda f)^{1/2} \,. \tag{6}$$

The key parameter for a FZP is of course the spatial resolution Δy. Calling r_M the outermost zone radius, the FZP diameter is $D = 2r_M$, and we can use the Rayleigh criterion, $\Delta y \approx 1.22\,(f/D)\lambda = 1.22\, f\lambda/(2r_M)$.

Note that r_M is linked to the width of the outermost zone, $\Delta r_M = [(2M\lambda f)^{1/2} - [2(M-1)\lambda f]^{1/2}]/2$; since $M >> 1$, $\Delta r_M \approx \lambda f/2r_M$, and

$$\Delta y \approx 1.22\, \Delta r_M \,. \tag{7}$$

This is a key point in the fabrication technology for x-ray FZPs: to obtain a good resolution, one must minimize the outermost zone width. However, one must also guarantee that the absorbing zones do block x-rays. This requires absorbing zones with a large thickness T, including the outermost one.

Thus, a good x-ray FZP must have a large "aspect ratio" $T/\Delta r_M$. The current technology [22] produces Δr_M values of the order of 10–20 nm with aspect ratios of the order of 15–20. Considering problems such as mechanical instability, this requires overcoming a formidable technological challenge.

In recent years, rapid progress was made in meeting this challenge. In our own research, we used a combination of electron-beam (e-beam) lithography and gold electrodeposition, beating repeatedly the record in lateral resolution for hard-x-ray microscopy [24].

Some of the results are shown in figs. 11–14. Specifically, fig. 11 (bottom) shows some of the best FZPs yielded by our technology, with thin outermost zones and high aspect ratios, yet reaching excellent mechanical stability.

Figure 12 shows how the new radiological techniques can convincingly reveal totally unexpected phenomena [24]. The images refer to the electrodeposition of a thin film of Zn over a Zn substrate. During the process, microbubbles of hydrogen develop near the interface. The image sequence clearly reveals an almost incredible phenomenon: the metal grows on top

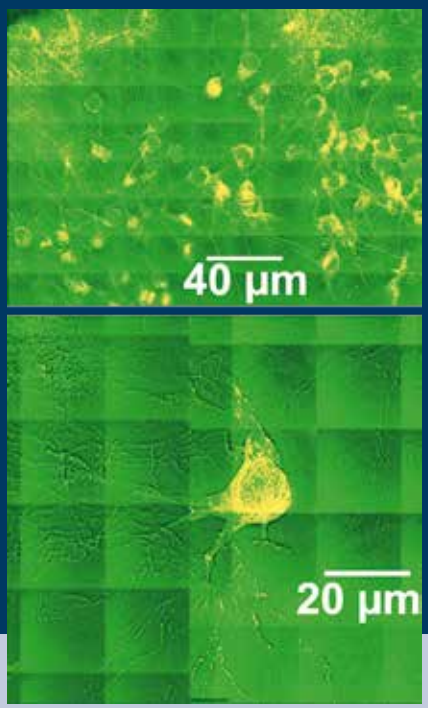


Fig. 13 Micrographs of rat neurons from ref. [25], obtained with advanced FZPs reaching a record lateral resolution of 15 nm.

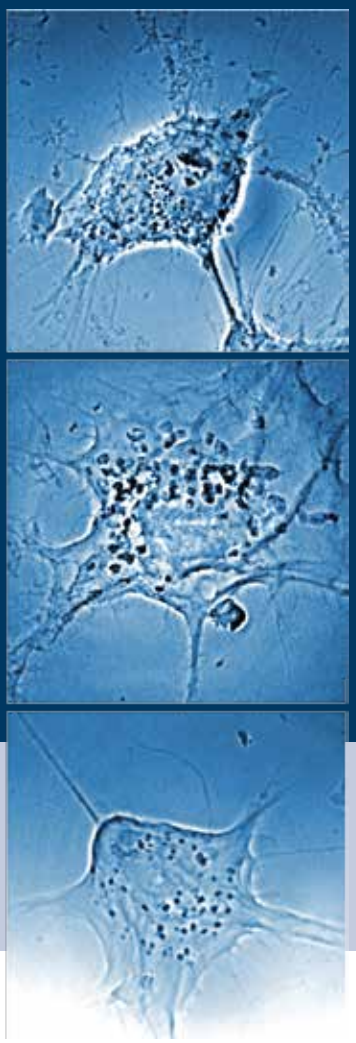


Fig. 14 Phase contrast x-ray micrographs of three different kinds of cells with internalized gold nanoparticles. The images from top to bottom refer to the HeLa, EMT and CT-26 cell lines.

of bubbles rather than just on the substrate. As the bubbles disappear in a fraction of a second, they leave behind spherical metal microcavities. These are defects that play an important role in the properties of the deposited overlayers.

The growth of a metal film on a gas bubble is a rather surprising fact that would be difficult to accept without very solid experimental evidence. Figure 12 shows how the new radiological techniques can provide evidence that is not only solid but also straightforward: no interpretation is necessary for such a direct observation.

Furthermore, the figure shows how important is to achieve a high time resolution with the new techniques, making it possible to investigate important dynamic phenomena in the life sciences and in materials science. The current benchmark for time resolution is a fraction of a millisecond per image – and there is room for additional improvements.

Figures 13 and 14 illustrate [25] how far hard-x-ray microscopy can go now in the study of biological systems. Only few years ago, medical and biological radiology was still confined to the level of organs. The images of fig. 13 show that now it reaches the level of individual cells, and can actually explore the internal structure of cells. The series of images was taken on rat neurons, and correspond to the limit lateral resolution that is currently achieved in hard-x-ray microscopy.

Figure 14 provides additional good examples of phase contrast microradiology at the subcellular level. The pictures refer to three different kinds of cells after exposure to Au nanoparticles (visible as dark spots).

The progress in FZP technology, coupled to other advances, is rapidly pushing hard-x-ray microscopy towards the benchmark resolution level of 10 nm. The progress has been quite rapid: in 2006, the equivalent benchmark was 45 nm.

6 Phase contrast tomography

As already mentioned, tomography (CT or CAT) was a most important development in medical radiology. It is widely known that this diagnostic method uses a large set of digital projection images – typically a few thousand – taken at equally spaced rotation angles of the object with respect to the source-detector system. Effective computer-implemented mathematical algorithms process the raw images and produce reconstructed pictures in three dimensions, from any point of view.

Not surprisingly, tomography has been a prime objective of phase contrast x-ray imaging since its first steps. In fact, tomographic reconstruction is part of many of the previously discussed techniques. The results were quite rewarding:

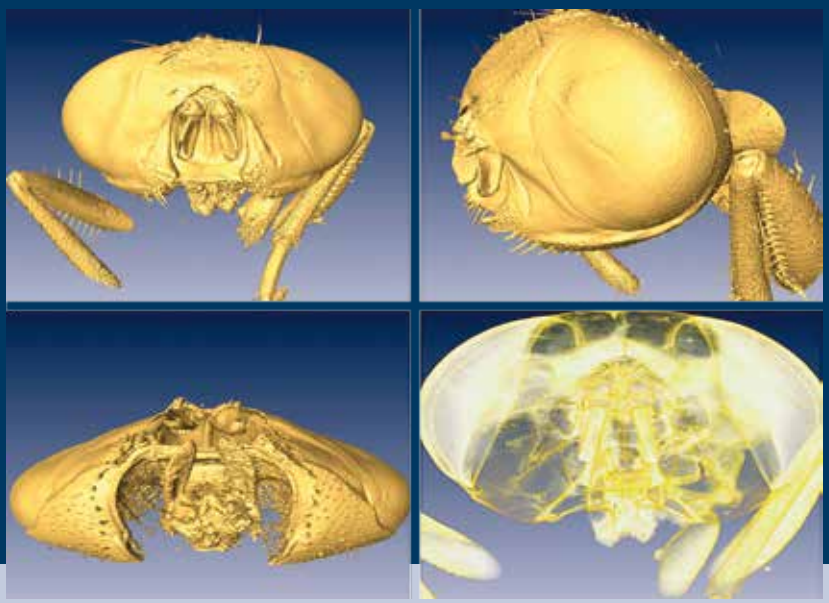


Fig. 15 Tomographically reconstructed phase contrast microradiographs of a housefly head.

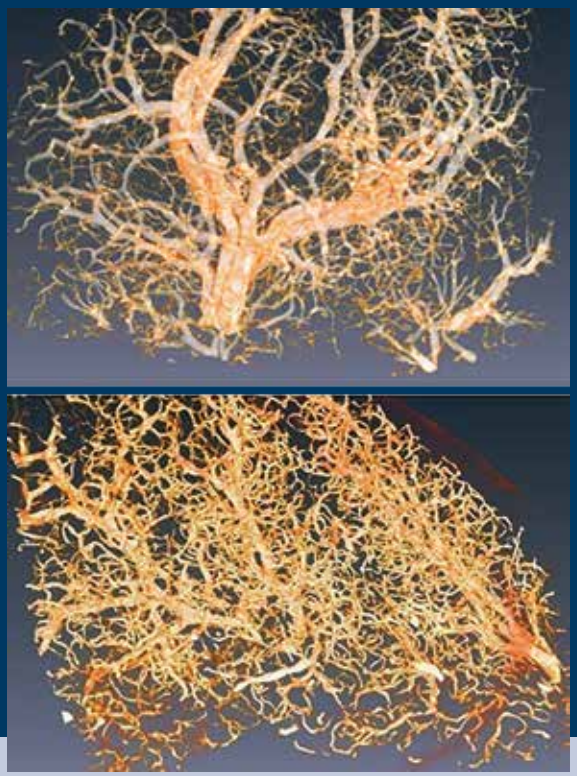


Fig. 16 Micromography of tumor-related angiogenesis in rat pancreas. The images were taken 3 days after implanting PANC1 cells into the pancreatic parenchyma of NOD-SCID mice without (top) or with (bottom) radiation activation. Field of view: 924 μm x 684 μm. Data from ref. [26].

thanks to phase contrast, CT is now reaching unprecedented performances.

Figure 15 and 16 shows examples of tomographic reconstruction applied to edge-enhancement radiology, from our research programs. In fig. 15, we see a series of tomographically reconstructed images with various points of view and two different degrees of penetration into the object, a housefly head. These results clearly show the flexibility of the approach and the extraordinary image quality, that reveals even minute details of the object morphology.

Figure 16 refers to a particularly important application of phase contrast tomography: microangiography [26]. This is the microscale version of standard angiography, the technique that images and investigates blood vessels. The objective is to clarify issues concerning diseases related to the vessels. These are not confined to heart problems: another important issue is the controversial role of the microvasculature in the development of cancer tumors.

Figure 16 shows that the technique, after tomographic reconstruction, detects very small microvessels of the tumor-induced microvasculature. This is an important feature since the analysis of the results, in view of diagnostics or possibly therapy applications, relies on a picture of the microvasculature as complete as possible, including the smallest vessels.

Based on results like those of fig. 16, it was possible to develop computer-assisted procedures to quantify the features of the vascular network, based on parameters such as the vessel length, diameter and tortuosity. This effort targets [26] the identification of simple quantitative criteria to assess the presence of a cancer tumor in its first stage, its subsequent evolution and possibly the response to therapy agents.

7 Final remarks

It is evident from our discussion that this is not a static field but one in rapid evolution. All the subsets of techniques are the objects to intense work throughout the world: new techniques are continuously invented and tested.

In this rather complex evolution one can detect certain common characteristics. The benchmarks to assess the success of a technique – or its practical – reflect a small set of criteria.

The techniques must of course provide high spatial resolution as well as high time resolution. While progressing towards the 10 nm benchmark, the current lateral resolution is already adequate for a number of cellular and subcellular investigations, as well as for the study of important issues in nanotechnology.

Time resolution, as we have seen, is currently beyond 1 millisecond for individual projection images. A longer time is of course required for a complete set of projection images for tomographic reconstruction. The situation in this latter case is being improved not only by decreasing the time per projection image, but also by developing reconstruction strategies that

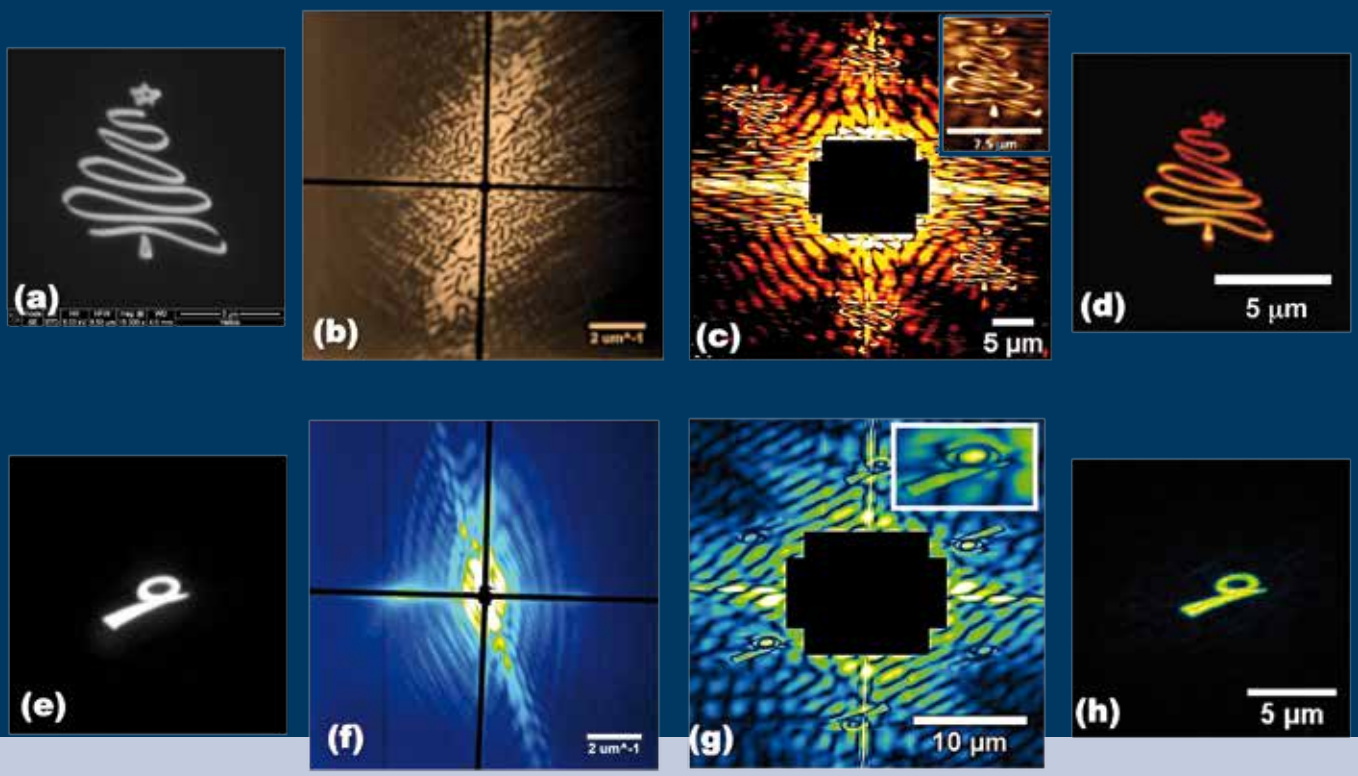


Fig. 17 One of the first applications of an x-ray free electron laser (FEL) to radiology: single shot diffraction imaging of test objects, whose scanning electron micrographs are shown in (a) and (b). The single-shot diffraction patterns taken with 32.5 nm FEL pulses are reported in (c) and (d); (e) and (f) are holographic reconstruction of the objects (visible in the dashed yellow squares and in the one enlarged inset); (g) and (h) show the results of the phase retrieval reconstruction. Image courtesy of Maya Kiskinova (for the experimental procedure, see ref. [28]).

require a smaller number of raw images – a few hundreds rather than a few thousands.

Time and spatial resolution are important but do not exhaust the requirements for the success of a new imaging technique. Another important aspect is the total dose of x-rays. In turn, this is related to the contrast. An excessive dose can lead to radiation damage, with important consequences. The issue is particularly critical for biomedical investigations, and acute for studies *in vivo* and for medical diagnostic of human patients.

Two other important aspects are flexibility and easy implementation. Very specialized techniques with limited flexibility, however powerful, find it difficult to be widely used and are *de facto* confined to specialized applications. In most cases, a widespread use also requires an easy implementation.

Unfortunately, some of the new radiology techniques are quite complicated and require specialized personnel. The history of x-ray imaging, however, shows that the most successful applications use techniques that can be implemented by personnel without a very advanced background (and increasingly rely on computer-controlled implementation). Excessive complication is a barrier against widespread use, in particular across the disciplinary boundaries.

In general terms, where is this domain going? Two key elements will certainly influence its development. The first is the advent of x-ray free electron lasers (X-FELs) [27]. A theoretical notion for decades, X-FELs recently became reality, first in Stanford and then in other places. One of the key properties of these sources is full lateral coherence over the entire spectrum. The impact on x-ray imaging will be very important: not surprisingly, many of the first applications are in this area – see for example fig. 17 [28].

The second element is the implementation of phase contrast x-ray imaging with laboratory-based sources. In principle, any source of x-rays can achieve high lateral coherence by filtering the emission with a shield and a pinhole. The price, of course, is wasting most of the emission and therefore settling for limited levels of flux and brilliance. Nevertheless, the advantages of not using a centralized facility justify the efforts in that direction.

Such efforts are paying back [6] and producing phase contrast x-ray images taken with a laboratory-based source. Achievements if this kind could pave the way to the routine use of phase contrast imaging for large-scale applications. This could open the way to systematic screening of the population for fundamental diseases like coronary blockage or breast cancer.

This would be the realization of a dream that inspired scientists towards the development of innovative diagnostics techniques like phase contrast mammography – with notable highlights such as the pilot patient tests at Elettra in Trieste [5]. And it would renew, in the 13th decade after Röntgen's discovery, the miracle of radiology.

Acknowledgements

We thank all the colleagues from the Academia Sinica, the Mackay Memorial Hospital, the Tri-Service General Hospital, the Tsing Hua University, the National Synchrotron Radiation Research Center, the Argonne Advanced Photon Source, the Brookhaven National Synchrotron Light Source, the University of Bordeaux, the Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), and the Paul Scherrer Institut who participated in different stages of our imaging programs. The research was supported by the National Science and Technology Program for Nanoscience and Nanotechnology, the National Science Council, the Academia Sinica, the Fonds National Suisse pour la Recherche Scientifique, the EPFL, the Center for Biomedical Imaging (CIBM), and the Brookhaven Science Associates, LLC under Contract No. DE-AC02-98CH10886. Use of the Advanced Photon Source is supported by the U. S. Department of Energy, Office of Basic Energy Sciences, under Contract No. DE-AC02-06CH11357.

References

[1] W. Roentgen, *Nature,* 53 (1896) 274.
[2] A. Assmus: "*Early History of X-rays*", published online at `http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-assmus.pdf`
[3] Data from the Center for X-ray Optics database, online at `http://henke.lbl.gov/optical_constants/getdb2.html`
[4] G. Margaritondo, Y. Hwu and G. Tromba, "*Synchrotron Radiation: Fundamentals, Methodologies and Applications*", edited by S. Mobilio and G. Vlaic (Società Italiana di Fisica, Bologna) 2003, p. 25; M. Di Michiel, A. Olivo, G. Tromba, F. Arfelli, V. Bonvicini, A. Bravin and G. Cantatore, "*Medical Applications of Synchrotron Radiation*", edited by M. Ando and G. Uyama (Springer, New York) 1998, p. 78.
[5] G. Margaritondo, "*Elements of Synchrotron Light for Biology, Chemistry, and Medical Research*" (Oxford, New York) 2002.
[6] S. C. Mayo, A. W. Stevenson and S. P. Wilkins, *Materials,* 5 (2012) 907.
[7] Y. Hwu, Wen-Li Tsai, A. Groso, G. Margaritondo and Jung Ho Je, *J. Phys. D,* 35 (2002) R105.
[8] Y. Liu, J. Nelson, C. Holzner, J. C. Andrews and P. Pianetta, *J. Phys. D,* 46 (2013) 494001.
[9] K. A. Nugent, *Phys. Rev. Lett*., 68 (1992) 2261.
[10] A. Snigirev, I. Snigireva, V. Kohn, S. Kuznetsov and I. Schelokov, *Rev. Sci. Instrum.,* 66 (1995) 5486.
[11] P. Cloetens, R. Barrett, J. Baruchel, J. Guigay and M. Schlenker, *M. J. Phys. D,* 29 (1996) 133.
[12] S. W. Wilkins, T. E. Gureyev, D. Gao, A. Pogany and A. W. Stevenson, *Nature,* 384 (1996) 335.
[13] F. Zernike, *Science,* 121 (1955) 345.
[14] Y. T. Chen, T. Y. Chen, J. Yi, Y. S. Chu, W. K. Lee, C. L. Wang, I. M. Kempson, Y. Hwu, V. Gajdosik and G. Margaritondo, *Optics Lett*., 36 (2011) 1269.
[15] D. Chapman, W. Thomlinson, R. E. Johnston, D. Washburn, E. Pisano, Z. Zhong, R. Menk, F. Arfelli and D. Sayers, *Phys. Med. Biol.,* 42 (1997) 2015.
[16] R. A. Lewis, C. J. Hall, A. P. Hufton, S. Evans, R. H. Menk, F. Arfelli, L. Rigon, G. Tromba, D. R. Dance, E. O. Ellis, E. Jacobs, S. E. Pinder and K. D. Rogers, *Brit. J. Radiol.,* 76 (2003) 301.
[17] J. Sub, P. Liu, S. Irvine, B. Pinzer, M. Stampanoni and L. X. Liu, *J. Instrumentation,* 8 (2013) C06003.
[18] I. Zanette, M. Bech, F. Pfeiffer and T. Weitkamp, *Appl. Phys. Lett.,* 98 (2011) 094101.
[19] G. Margaritondo and F. Cerrina, *Nucl. Instrum. Methods A,* 291 (1990) 26.
[20] B. Hornberger, M. D. de Jonge, M. Feser, P. Holl, C. Holzner, C. Jacobsen, D. Legnini, D. Paterson D, P. Rehak, L. Strueder and S. Vogt, *J. Synchr. Radiat*., 15 (2008) 355.
[21] A. M. Maiden, G. R. Morrison, B. Kaulich. A. Gianoncelli and J. M. Rodenburg, *Nat. Commun*., 4 (2013) 1669.
[22] S. R. Wu, C. H. Lin, Y. S. Chen, Y. Hwu, Y. S. Chu and G. Margaritondo, *J. Phys. D,* 46 (2013) 494005.
[23] M. Howells, C. Jacobsen and T. Warwick, "*Principles and Applications of Zone Plate X-ray Microscopes*", in *Science of Microscopy*, edited by P. W. Hawkes and J. C. H. Spence, Vol. II (Springer, New York) 2007, pp. 835-926.
[24] W. L. Tsai, P. C. Hsu, Y. Hwu, C. H. Chen, L. W. Chang, J. H. Je, H. M. Lin, A. Groso and G. Margaritondo, *Nature,* 417 (2002) 139.
[25] H. R. Wu, S. T. Chen, Y. S. Chu, R. Conley, N. Bouet, C. C. Chien, H. H. Chen, C. H. Lin, H. T. Tung, Y. S. Chen, G. Margaritondo, J. H. Je and Y. Hwu, *J. Phys. D,* 45 (2012) 242001.
[26] Chia-Chi Chien, I. M. Kempson, Cheng Liang Wang, H. H. Chen, Yeukuang Hwu, N. Y. Chen, T. K. Lee, Cyril Petibois, Kelvin K.-C. Tsai, Ming-Sheng Liu, Kwang-Yu Chang, C. S. Yang and G. Margaritondo, *Biotechn. Adv.,* 31 (2013) 396.
[27] G. Margaritondo and Primoz Rebernik Ribic, *J. Synchr. Radiat*., 18 (2011) 101.
[28] F. Capotondi, E. Pedersoli, N. Mahne, R. H. Menk, G. Passos, L. Raimondi, C. Svetina, G. Sandrin, M. Zangrando, M. Kiskinova, S. Bajt, M. Barthelmess, H. Fleckenstein, H. N. Chapman, J. Schultz, J. Bach, R. Frömter, S. Schleitzer, L. Müller, C. Gutt and G. Grübel, *Rev. Sci. Instrum.,* 84(2013) 051301.

Giorgio Margaritondo

Giorgio Margaritondo graduated in 1969 at the University of Rome "La Sapienza", and then worked at the Italian National Research Council and at Bell Laboratories. In 1978-90, he was a Professor at the University of Wisconsin-Madison and the Associate Director of its Synchrotron Radiation Center. Since 1990 he is a faculty member at the EPFL, Dean of continuing education and former Dean of basic sciences and Vice-president for academic affairs. He was the coordinator of the scientific division of the Elettra Laboratory. He has worked with synchrotron radiation for over three decades, contributing to the development of many techniques in spectroscopy and microscopy.

Yeukuang Hwu

After obtaining a PhD at the University of Wisconsin, Madison, he joined the Institute of Physics of the Academia Sinica in Taiwan, where he is currently a Fellow. He is also a Professor at the National Tsing Hua University in Taiwan and was a visiting faculty member of the EPFL. In his early research career he pioneered the use of synchrotron radiation photoemission to investigate superconductivity. For over fifteen years he has been at the forefront of synchrotron-based radiology, contributing to the development of phase contrast imaging and hard-x-ray microscopy. Recently, he became a leader of x-ray–based nanoparticle fabrication for biomedical applications.

CERIMONIA INAUGURALE 99° CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

TRIESTE, 23 SETTEMBRE 2013

Cerimonia inaugurale del Congresso nell'Aula Magna dell'Università degli Studi di Trieste. Da sinistra verso destra: Igor Dolenc, Roberto Cosolini, Maurizio Fermeglia, Luisa Cifarelli, Guido Martinelli, Silvia Dalla Torre.

L. Cifarelli: Buongiorno, sono molto onorata di dare a tutti i presenti il benvenuto al 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica. Alla mia destra, accanto a me, ho l'onore di avere il Magnifico Rettore dell'Univeristà di Trieste, Professor Maurizio Fermeglia, che ci ospita in questa bellissima Aula Magna; accanto a lui il Sindaco della città di Trieste, Dottor Roberto Cosolini, e poi il Vicepresidendente della Provincia di Trieste, Dottor Igor Dolenc. Alla mia sinistra, il Direttore della Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA), Professor Guido Martinelli – la SISSA ospiterà i lavori del Congresso a partire da oggi pomeriggio – e accanto a lui il Direttore della Sezione di Trieste dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), la Dottoressa Silvia Dalla Torre che è anche Presidente del Comitato Organizzatore Locale. Vorrei salutare e ringraziare per la loro presenza nel pubblico innanzitutto il Prefetto di Trieste, Dottoressa Francesca Garuffi, il Presidente dell'INFN, Professor Fernando Ferroni, il Presidente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Professor Stefano Gresta, il Presidente di Elettra-Sincrotrone Trieste, Professor Carlo Rizzuto, il Direttore del Dipartimento Materiali e Dispositivi del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Professor Massimo Inguscio, il Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Trieste, Professor Gaetano Senatore, e come rappresentante della vicina Università di Udine, la Professoressa Marisa Michelini, Presidente del Gruppo Internazionale di Ricerca sull'Insegnamento della Fisica (GIREP). Poi il mio saluto va agli amici Presidenti di Società scientifiche che collaborano con la SIF come il Professor Antonio Gandolfi, Presidente dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), il Professor Federico Boscherini, Presidente della Società Italiana Luce di Sincrotrone (SILS), il Professor Lucio Fregonese, Presidente della Società Italiana degli Storici della Fisica e dell'Astronomia (SISFA), i rappresentanti dell'Unione Matematica Italiana (UMI) e dell'Associazione Italiana di Fisica Medica (AIFM).

Prima di dare la parola ai nostri illustri padroni di casa, vorrei ricordare che il

Congresso della Società Italiana di Fisica torna a Trieste dopo 28 anni. Il 71° Congresso, nel 1985, ebbe luogo nel Palazzo dei Congressi alla Stazione Marittima. Quelli erano i tempi in cui esordiva il Laboratorio Nazionale del Gran Sasso dell'INFN sotto la presidenza di Nicola Cabibbo, laboratorio che tutto il mondo ci invidia e che era stato ideato e fortemente voluto dal suo predecessore Antonino Zichichi. Nel 1985 Carlo Rubbia aveva appena vinto il Premio Nobel. Il Congresso SIF, allora come ora, fu organizzato dal Direttore della Sezione INFN di Trieste, Professor Edoardo Castelli, sotto la presidenza dell'attuale Presidente Onorario della SIF, Professor Renato Angelo Ricci. Entrambi sono qui presenti oggi. Il Congresso ovviamente ospitò come sempre relatori di rilievo ed eventi di rilievo. Tra questi, vorrei menzionare la tavola rotonda sulle iniziative e prospettive italiane per la luce di sincrotrone cui parteciparono, tra gli altri, Carlo Rizzuto e Franco Bassani, promotori della luce di sincrotrone a Trieste, e anche una tavola rotonda sulla ricerca di punta in Fisica, con la presenza, oltre a quella dei già citati Cabibbo, Rubbia e Zichichi, del Premio Nobel Abdus Salam, fondatore dell'International Centre for Theoretical Physics (ICTP) di Trieste. Il Congresso fu anche onorato dalla presenza dell'allora Ministro della Ricerca Scientifica e Tecnologica On. Luigi Granelli. All'epoca il Ministro auspicava "un aumento della presenza prestigiosa e incisiva dell'Italia al CERN in Europa e nelle relazioni internazionali" – sono le sue parole – aggiungendo che questo suo auspicio trovava "eloquente conferma nell'intelligente opera della Società Italiana di Fisica, che da tempo sollecita l'adeguata valorizzazione nazionale e internazionale delle nostre potenzialità". Dopo quasi 30 anni noi speriamo che questo Congresso, siamo arrivati al 99°, risponda oggi con i suoi contenuti e le sue iniziative a questo auspicio. In qualche modo lo stiamo già facendo, come vedrete tra poco, con la scelta dei vincitori del Premio "Enrico Fermi" 2013 della SIF.

Ora, nel dare la parola al Sindaco di Trieste, Dottor Roberto Cosolini, mi rallegro a nome di tutta la Società Italiana di Fisica per essere di nuovo in questa città di grande bellezza e di grande prestigio scientifico e culturale non solo in Italia, ma nel mondo. Signor Sindaco a Lei la parola.

R. Cosolini: Grazie. Buongiorno da parte mia alle Autorità e a tutti i congressisti, un caloroso benvenuto a Trieste a tutti coloro che hanno raggiunto la nostra città per il Congresso della Società Italiana di Fisica. L'augurio che ovviamente non può non fare un Sindaco è che i lavori intensi che vi attendono non vi impediscano di apprezzare le bellezze di questa città. Io voglio ringraziare la SIF per questo ritorno e questa scelta. Dopo 28 anni sono cambiate molte cose, il sistema scientifico di questa città che era già ricco allora, si è ulteriormente consolidato. Voglio anche ringraziare il mondo della Fisica perché Trieste gli deve essere grata, nel senso che tutto è nato dalla Fisica. Se noi oggi abbiamo una costellazione di Enti e Istituzioni impegnate nei vari campi della conoscenza scientifica, se oggi noi abbiamo infrastrutture quali Area Science Park e il Sincrotrone per l'applicazione della conoscenza ai fini del trasferimento tecnologico e quindi della competitività dell'economia, se oggi il cosiddetto "sistema Trieste" ha abbracciato molti campi, dalle Scienze della vita, all'Informatica, alle questioni delle energie alternative e così via dicendo, ebbene non possiamo dimenticare che tutto a Trieste è nato proprio dalla coraggiosa e tenace iniziativa di alcuni uomini della Fisica, supportati evidentemente dalle Istituzioni, che ebbero il coraggio e l'intuizione di iniziare il percorso che ha portato Trieste a questi risultati in campo nazionale e internazionale. È chiaro che il pensiero va a Abdus Salam, a Paolo Budinich e a tanti altri che qui non cito, va per l'Astrofisica a Margherita Hack, che la città e la comunità scientifica insieme ricorderanno giovedì sera nell'anteprima di "Trieste Next" al Teatro Verdi in un appuntamento al quale immagino molti di voi saranno presenti.

Dopo questo simbolico ringraziamento, la seconda considerazione che faccio, evidentemente nell'auspicio che i vostri lavori siano, ma lo saranno sicuramente, produttivi, è quella di una comune consapevolezza dei tempi difficili che stiamo vivendo. Sono questi tempi in cui il nostro Paese arranca e fa fatica su molti campi, in particolare su quello della destinazione al sistema dell'alta formazione, della conoscenza e della ricerca scientifica di quelle risorse che sarebbero indispensabili affinché questo sistema possa contribuire al futuro di tutti quanti noi, a partire dalla formazione dei giovani e poi evidentemente ai campi sempre sfidanti della produzione di conoscenza e della sua applicazione ai fini anche della competitività della nostra economia e delle nostre imprese. Sappiamo tutti quanti le difficoltà nelle quali si dibatte il bilancio dello Stato. Chi è amministratore locale oggi fa quotidianamente i conti, anche perché è l'anello terminale evidentemente di una catena di difficili compatibilità da far quadrare. Credo che però non possa anche in questo momento venire a mancare l'auspicio e la richiesta molto forte, rivolta in particolare al Governo e alle Istituzioni nazionali, di destinare le risorse adeguate a garantire il futuro del nostro sistema formativo e scientifico, nella consapevolezza che solo così usciremo dalla crisi, solo investendo in conoscenza, in innovazione, solo investendo perciò in quei fattori che fanno sì che alcuni Paesi siano più avanti di noi nel difficile percorso di fuoriuscita da questa crisi. Solo in questo modo, credo, alla fine noi come sistema Italia riusciremo a superare questo momento difficile e a ricostruire un percorso positivo dal punto di vista economico e sociale.

Rinnovo il mio saluto e il mio ringraziamento e auguro a tutti i partecipanti buon lavoro.

Pubblico durante la Cerimonia Inaugurale del Congresso.

L. Cifarelli: Grazie Signor Sindaco per queste belle parole. Vorrei dare ora la parola a chi ci ospita in questa splendida sede, il Magnifico Rettore, Professor Maurizio Fermeglia.

M. Fermeglia: Buongiorno a tutte e a tutti e benvenuti all'Università di Trieste.

Chi mi ha preceduto ha citato avvenimenti risalenti a 30 anni fa. Ebbene, da allora, Trieste ha vissuto un'esplosione nel campo della conoscenza molto più importante di quella che ha riguardato la Barcolana, per cui forse sarebbe il caso di cominciare ad associare questa città alla Scienza e alla conoscenza, piuttosto che alla nota competizione velica. I progressi scientifici registrati da allora sono stati enormi: parlare di Fisica a Trieste è fin troppo facile in quanto i cervelli formatisi qui sono numerosissimi. L'Università ha donato molti studiosi non solo a questa disciplina, ma alla Scienza in generale.

Scorrendo il programma di questo convegno, riscontro due parole che a me piacciono moltissimo e che, bisogna dire, nella Fisica sono sempre state di casa: l'interdisciplinarità e la multidisciplinarità. Personalmente, quando guardo all'alta formazione, ai dottorati di ricerca e al trasferimento della tecnologia, ritengo che l'interdisciplinarità sia la giusta parola d'ordine, la grande chiave per il nostro futuro. L'interdisciplinarità è anche una direzione strategica che io ho intenzione di dare all'Università di Trieste nei prossimi sei anni di mandato, insieme alla mia squadra.

Ritengo che sia abbastanza importante che, dopo 28 anni, questo Congresso torni a Trieste e che abbia scelto come tema della sua tavola rotonda il trasferimento tecnologico. È fondamentale, per noi, visto anche il momento di crisi, essere in grado di far capire che le ricerche che facciamo non sono uno spreco di denaro, bensì un investimento per il futuro, tanto più che utilizziamo anche dei fondi pubblici.

Abbiamo però bisogno di qualcosa in più, di qualcosa cui di solito noi scienziati e studiosi non siamo molto attenti, ovvero il fatto che noi produciamo dei risultati, ma che tali risultati, per poter generare a loro volta denaro e far fruttare l'investimento fatto, hanno bisogno dell'innovazione e questa si fa assieme agli imprenditori. Quindi dobbiamo aprire i nostri santuari e chiedere al settore produttivo triestino, italiano ed europeo di capire quello che facciamo, di valorizzare i nostri dottori di ricerca e le ricerche che facciamo, senza limitarsi a cercare un ritorno di investimento nel giro di qualche mese o qualche anno.

Questa è la grande sfida: dobbiamo sicuramente insistere sulla multidisciplinarità e l'interdisciplinarità. L'iniziativa "Trieste Next", già citata dal Sindaco, mette secondo me bene in evidenza il fatto che le sfide dell'umanità nel prossimo futuro non saranno risolvibili da una singola disciplina o due messe assieme. Si parla di cibo, di acqua, di energia, di salute dell'uomo, di invecchiamento della popolazione: tutte queste cose non possono essere affrontate se non lavoriamo assieme.

Ecco il mio auspicio: utilizzare questo convegno come un seme. Così come circa 30 anni fa il Congresso ha generato un'esplosione della Fisica nel territorio, spero che questo generi un'esplosione di trasferimento di tecnologia e che non si limiti a beneficiare il territorio (che comunque ne ha bisogno e che magari, essendo più vicino, potrà trarne qualche vantaggio prima di quanto non potranno fare Taiwan e la Cina), ma che possa generare una conoscenza in grado di essere applicata.

Permettetemi di concludere ricordando che non esiste una distinzione tra ricerca di base e ricerca applicata, esiste solo quella tra buona e cattiva ricerca. L'investimento, pertanto, va fatto nei settori che sono produttivi, ovvero quelli che generano conoscenza. Questo è il mio punto di vista e sto lavorando attivamente per unire gli Enti di ricerca del territorio di Trieste e fare in modo che si presentino compatti, al fine di favorire tutte le loro possibili interazioni. Siamo seduti su un tesoro che pochi hanno, anzi, oserei dire che quasi nessuno ha, in Italia, e questo è un aspetto che va sicuramente valorizzato.

Vi ringrazio e vi auguro buon lavoro.

L. Cifarelli: Grazie Magnifico Rettore per questo stimolante intervento. Adesso la parola al Direttore della SISSA, Professor Guido Martinelli.

G. Martinelli: Ringrazio tutte le persone presenti. È stato già menzionato che molto tempo è passato dall'ultimo Congresso della SIF a Trieste e in questo lasso di tempo moltissime cose sono cambiate, non solo perché c'è stato il crollo del muro di Berlino che ha cambiato completamente il quadro internazionale, il mondo evoluto, la globalizzazione e quant'altro, ma nella Fisica abbiamo assistito a dei progressi e dei cambiamenti vertiginosi. Non dimentichiamo che nel frattempo la Fisica del neutrino è completamente cambiata, con delle informazioni che ci arrivano dal cosmo sulla storia del nostro universo. Gli esperimenti che abbiamo mandato nello spazio, l'ultimo in ordine di tempo è Planck, hanno approfondito in maniera straordinaria la nostra conoscenza su come è nato l'universo in cui viviamo e hanno inoltre stretto il legame tra Cosmologia, Astrofisica e Fisica delle particelle elementari. Ci sono stati progressi straordinari anche nella Fisica dello stato solido sia nella parte teorica sia in quella applicativa. Ho qui davanti il Professor Inguscio, che voglio ricordare tra i tanti, per quanto attiene allo sviluppo della sperimentazione con gli atomi freddi e tutte le implicazioni pratiche che queste potranno avere nel futuro. Quindi è un mondo in grandissima evoluzione e credo sia molto importante che dopo molti anni il Congresso della SIF sia venuto a Trieste, luogo di grande concentrazione di Enti e Istituti di ricerca. Una cosa che mi preme dire è che questi Enti di ricerca, questi Istituti di formazione, l'Università, la SISSA, l'INFN, il CNR, e sarebbe troppo lungo elencarli tutti, lavorano in un clima di grande armonia e di grande collaborazione, perché noi riteniamo importante che queste sinergie potenzino la nostra capacità individuale di produrre ricerca e Scienza, anche Scienza applicata e spin-off.

Colgo l'occasione per ringraziare la Dottoressa Dalla Torre che ha coordinato l'organizzazione di questa conferenza tramite un Comitato che ha saputo appunto dimostrare sinergie e spirito di grande collaborazione in tutto questo periodo. Quindi non è soltanto un fatto simbolico che i luoghi di questa conferenza si dividano tra Università di Trieste e SISSA tra le quali, ora come in passato, intercorrono ottimi rapporti. Nel 1985 la SISSA non avrebbe potuto ospitare la SIF, ora lo possiamo fare grazie a una sede che ci è stata data dall'allora Governo Regionale e di cui l'attuale Sindaco era membro. Io penso che dobbiamo guardare anche al futuro, la Fisica italiana è una Fisica di altissimo livello e, nonostante le difficoltà del Paese che sono state menzionate, ha mantenuto uno standing internazionale; voglio ricordare, che a un certo punto gli spokesmen di tutti e 5 gli esperimenti del CERN erano italiani e credo che questo sia un risultato straordinario che testimonia la vivacità della ricerca in Fisica in Italia. Vi potrei citare anche molti altri esempi, ma non voglio annoiarvi troppo. Credo che noi dobbiamo continuare a agire con la massima determinazione a dispetto delle difficoltà legislative, burocratiche ed economiche e mantenere questo altissimo livello della ricerca in Fisica in Italia.

Finisco ovviamente con un augurio a tutti i partecipanti per un buon svolgimento di questa conferenza.

L. Cifarelli: Grazie. Vorrei chiedere adesso al Vicepresidente della Provincia di Trieste, Igor Dolenc, di darci il suo contributo.

I. Dolenc: Buongiorno a tutti, porto il saluto della Provincia di Trieste e della Presidente che non ha potuto essere oggi qui.

Mi è piuttosto difficile aggiungere qualcosa a quanto è già stato detto, anche perché lo condivido appieno. Io posso dire che come amministrazioni pubbliche, forse in questo momento abbiamo un compito in più, quello di agevolare, prestando quelle che sono le nostre competenze dal punto di vista della semplificazione burocratica, per supportare tutto questo complesso di altissima qualità che è la ricerca a Trieste. In questi due anni del mio mandato ho avuto modo di incontrarmi spesso con dirigenti, direttori di vari Istituti prestigiosi, ognuno dei quali segnalava varie problematiche e una delle più importanti era

proprio quella dell'accoglienza. Io credo che Trieste ci abbia evidentemente creduto fino in fondo e dall'inizio; vedo qua la Signora Illy e ricordo che, già negli anni in cui ero Consigliere Comunale, abbiamo avuto le prime difficoltà a far capire alla gente che questo era il futuro, che era un investimento che avrebbe dato dei risultati importanti. Bene, oggi pur in questa situazione molto difficile, la nostra è anche una testimonianza che ci crediamo ancora, e il nostro apporto in questo momento credo consista nel dare quelle infrastrutture, chiamiamole materiali, per poter far sì che avvenimenti come questo abbiano successo. Peraltro i grandi congressi rappresentano anche una forma di turismo, passatemi questa banalità, che è anche importante, perché il movimento di tante persone che arrivano in questa città – e condivido l'auspicio del Sindaco e lo allargo al fatto che voi possiate godere non solo della città ma anche di tutta la sua Provincia – è un aspetto ormai di cui non possiamo fare a meno, è imprescindibile. Su questo noi dobbiamo lavorare assieme per dare ulteriore possibilità di crescita alla ricerca e per chi viene qui a studiare, implementare conoscenza e sviluppare innovazioni per poi diventare ambasciatore di questa città, di questa regione nel mondo. Ed è la migliore promozione turistica che potremmo immaginare.

Io vi auguro buon lavoro. Benvenuti a Trieste e nella Provincia di Trieste.

L. Cifarelli: Grazie e ora la parola alla Dottoressa Silvia Dalla Torre, Presidente del Comitato Organizzatore Locale, che come già detto è colei a cui si deve tutta l'organizzazione di questo Congresso.

S. Dalla Torre: Il mio è il saluto del Comitato Organizzatore Locale, un saluto che è anche un ringraziamento. E inizio ringraziando prima di tutto le Autorità che nonostante i loro impegni hanno voluto essere presenti a testimoniarci attenzione e vicinanza. Il mondo di chi in vario modo fa Scienza oggi ha bisogno di queste testimonianze. Non ripeterò le analisi che sono già state presentate, relative al contributo del nostro lavoro alla società in cui viviamo. Tuttavia oggi, in un momento di difficoltà, c'è la tentazione di mettere questo lavoro e questo ruolo da parte, di considerarli superflui: un di più di cui non c'è stretta necessità. È stato detto con chiarezza che, al contrario, la necessità è reale e la presenza delle Autorità è un chiaro messaggio in tal senso. Questo messaggio conforta noi che ogni giorno ci dedichiamo al nostro lavoro di ricerca con lo spirito di un servizio alla società di cui ci sentiamo parte integrata.

Il mio secondo ringraziamento va ai nostri ospiti. Siamo all'Università di Trieste, il nostro ospite è il Rettore; da questo pomeriggio e per tutto il resto della settimana saremo alla SISSA e il nostro ospite è il Direttore della Scuola. Li ringrazio perché hanno messo a disposizione non solo gli spazi, ma molto di più: il personale che ci ha aiutato e supportato e tutte le necessarie strutture. Vorrei ricordare, in particolare, la disponibilità generosa di due persone meravigliose e cioè i due segretari scientifici, uno dell'Università e uno della SISSA: senza di loro nulla sarebbe stato possibile e quindi li ringrazio e ringrazio il Rettore e il Direttore che li hanno designati. Abbiamo due sedi: questo rappresenta l'idea di collaborazione da cui è nata l'organizzazione del Congresso, frutto di una ampia collaborazione, cui contribuiscono, oltre alle due Istituzioni che ci ospitano e che ho già nominato, l'Istituto IOM del CNR, il Consorzio per la Fisica, il Dipartimento di Fisica dell'Università, Elettra-Sincrotrone, la Fondazione Internazionale Trieste, l'ICTP, l'Osservatorio Astronomico di Trieste dell'INAF e concludo la lista con l'Istituzione a cui appartengo, l'INFN, in questa città presente con la Sezione di Trieste. La lista è ampia e questo ha due significati. Il primo, già ricordato in uno degli interventi precedenti, è quello della confidenza profonda nella sinergia e nella collaborazione, nel fatto che è stabilendo legami e lavorando insieme che costruiamo veramente per la Scienza da una parte e per la città dall'altra. Il secondo significato è legato ai tempi difficili in cui viviamo; i congressi precedenti, è stata ricordata dalla Presidente SIF la bella edizione a Trieste di 28 anni fa, erano organizzati in un contesto generale più sereno e quindi era più facile trovare supporto concreto sia dal mondo produttivo sia dalle Istituzioni pubbliche. Questa edizione sarebbe stata impossibile se non ci fosse la cooperazione di addirittura nove istituzioni scientifiche. Solo grazie al loro contributo è stato realizzato il nostro Congresso e desidero sottolinearlo. La Presidente SIF si ricorderà che quando, all'inizio estate 2012, ha proposto Trieste per il Congresso 2013, non le ho detto subito di sì nonostante l'entusiasmo che sentivo. Le ho chiesto tempo per verificare con i colleghi delle varie Istituzioni le possibilità di sinergia, perché senza fare fronte comune non ce l'avremmo fatta. Con molti avevamo già rapporti di conoscenza e amicizia, con altri siamo diventati amici lavorando assieme durante questo anno.

Queste considerazioni mi portano a ringraziare la SIF e la sua Presidente per aver voluto tornare a Trieste in questa edizione il cui numero è un po' evocativo: siamo al 99° Congresso e siamo grati alla Presidente di averlo voluto qui e di averci dato fiducia.

Un congresso riesce se è valido il suo programma scientifico e dietro a questo c'è il lavoro di tutti i Presidenti di Sezione. Su nove Sezioni scientifiche la SIF ha voluto affidare sei presidenze a fisici triestini: anche questo parametro numerico dà ragione della ampiezza e ricchezza delle realtà scientifiche qui presenti. Ci sono poi i relatori di Relazioni Generali, Relazioni su Invito, Comunicazioni, di cui molte presentate da giovani. Ognuno di questi relatori ha preparato con cura il suo contributo, forse i giovani che debuttano con cura ancora maggiore; li ringraziamo per questo impegno.

E ora un grazie a tutti i nostri congressisti, soprattutto alla maggioranza che viene da fuori Trieste e si è arrampicata lungo lo Stivale per arrivare fino a qui: Trieste è mal collegata con il resto d'Italia, come verifichiamo quotidianamente noi triestini che dobbiamo viaggiare in relazione al nostro lavoro. Grazie per aver affrontato un viaggio difficile, certo spinti dalla passione per il vostro lavoro, dalla fiducia nel Congresso della SIF e, voglio sperare, anche da un po' di affetto per Trieste.

Da ultimo abbiamo una folla che opera dietro le quinte; tutto quello che avremo a disposizione in questa settimana dal punto di vista logistico e segretariale lo dobbiamo a loro, cui va un saluto e un ringraziamento di cuore.

Ringraziare all'inizio del Congresso invece che alla fine è un po' temerario, perché non è detto a priori che tutto filerà liscio. L'impegno che ho visto profondere da parte di tutti i colleghi con cui ho collaborato mi porta ad essere ottimista; per le nostre pecche speriamo nella generosa indulgenza dei partecipanti.

L. Cifarelli: Grazie all'amica Silvia Dalla Torre per queste affettuose parole. Dal canto mio, credo che rimanderò i ringraziamenti per tutti alla fine del Congresso. Intanto però vorrei ringraziare i nostri illustri ospiti, venuti a portare il saluto delle Istituzioni in questa Cerimonia di Inaugurazione del Congresso, prima di dare inizio alla nostra consueta Cerimonia di Premiazione. So che alcuni di voi devono andare via. Se permettete vorrei offrirvi una brochure che illustra la storia della SIF in 115 anni e oltre di attività e, per i signori, una cravatta della Società Italiana di Fisica, mentre, per la Dottoressa Silvia Dalla Torre, la nostra sciarpa.

Come ogni anno la Cerimonia di Premiazione prevede l'assegnazione di vari premi a giovani e meno giovani e in particolare il nostro protocollo prevede di consegnare in primo luogo i diplomi e medaglie ai Soci Benemeriti della Società Italiana di Fisica, illustri colleghi che hanno onorato la Società e la Scienza con i loro contributi.

In ordine alfabetico vorrei chiamare:

- Luigi BUSSO dell'Università di Torino, Socio Benemerito per i suoi contributi dati alla Fisica Nucleare Sperimentale e alla Società Italiana di Fisica.

L. Busso: Vorrei dire solo che ho sempre lavorato in modo estremamente onesto per cercare di fare il massimo per l'INFN e per la Fisica italiana.

L. Cifarelli: Chiamo ora:
- Edoardo CASTELLI dell'Università di Trieste, Socio Benemerito per i suoi contributi dati alla Fisica Medica e alla Società Italiana di Fisica.

E. Castelli: Grazie.

L. Cifarelli: Chiamo adesso:
- Giancarlo GHIRARDI dell'Università di Trieste, Socio Benemerito per i suoi contributi dati alla Fisica Teorica e alla Società Italiana di Fisica.

G. Ghirardi: Ringrazio la SIF per questo riconoscimento che mi onora e che fa riferimento all'attività di ricerca che da molti, molti anni, svolgo con passione. Non sono triestino, ma vivo a Trieste da 45 anni e ho svolto qui praticamente tutta la mia attività in campo scientifico. Considero quindi questo riconoscimento anche come una presa d'atto del ruolo scientifico rilevante del nostro Ateneo.

L. Cifarelli: Grazie mille.
Chiamo ancora:
- Francesco GUERRA dell'Università di Roma "La Sapienza", Socio Benemerito per i suoi contributi dati alla Fisica Teorica, alla Storia della Fisica e alla Società Italiana di Fisica.

F. Guerra: Vorrei ringraziare la Società Italiana di Fisica e il suo Presidente Luisa Cifarelli per questo riconoscimento, che considero un grande onore. Sono convinto che la Società potrà continuare nella realizzazione dei suoi fini istituzionali con sempre maggiore efficacia, specialmente agli effetti della promozione della ricerca e della diffusione della cultura scientifica. Grazie ancora.

L. Cifarelli: Grazie infinite.
Chiamo ancora:
- Silvia LIMENTANI dell'Università di Padova, Socio Benemerito per i suoi contributi dati alla Fisica Subnucleare Sperimentale e alla Società Italiana di Fisica.

S. Limentani: A un certo punto della vita fa molto piacere vedere che il lavoro svolto non è dimenticato. In particolare mi è gradito ricordare i lunghi anni trascorsi al DESY di Amburgo, in collaborazione con la nostra qui presente Presidente.

L. Cifarelli: Congratulazioni.
Infine chiamo:
- Nicola VITTORIO dell'Università di Roma Tor Vergata, Socio Benemerito per i suoi contributi dati all'Astrofisica, alla Didattica della Fisica e alla Società Italiana di Fisica.

N. Vittorio: Solo poche parole per ringraziare il Presidente e il Consiglio di Presidenza per questo riconoscimento. Lo considero un grande onore, che mi impegna a rafforzare ulteriormente la mia collaborazione con la SIF. Ancora grazie.

L. Cifarelli: Grazie mille.
Adesso passiamo a una fase della premiazione che riguarda i giovani, con i premi per le migliori comunicazioni presentate al Congresso dell'anno scorso, il 98° Congresso Nazionale della SIF che ha avuto luogo a Napoli dal 17 al 21 settembre 2012. I premi per le migliori comunicazioni si dividono in primo premio, secondo premio e menzione, e danno dignità di stampa su Il Nuovo Cimento; i secondi classificati ricevono un diploma e i primi, oltre al diploma, ricevono anche un piccolo premio in denaro.
I Premi per le Migliori Comunicazioni sono congiuntamente offerti da CAEN, Il Nuovo Cimento e The European Physical Journal (EPJ).
Si riferiscono alle varie Sezioni parallele del Congresso (nominerò solo i premiati che avevano comunicato di poter essere presenti alla Cerimonia odierna):
- Per la Sezione di Fisica Nucleare e Subnucleare, il Primo Premio va a Silvia MARTELLOTTI dell'Università di Roma Tre e INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, RM, per la sua comunicazione "Misura del momento di dipolo elettrico del tau con l'esperimento BaBar".
- Per la Sezione di Fisica della Materia, il Secondo Premio va a Antonio CASTRILLO del Dipartimento di Scienze Ambientali, Seconda Università di Napoli, Caserta, per la sua comunicazione "Application of the Kalman filtering technique to the spectroscopic determination of the $^{17}O/^{16}O$ isotope ratio in water"; e a Gabriella Maria DE LUCA di SPIN-CNR, Napoli, per la sua comunicazione "Epitaxial multiferroic $BiMnO_3$ ultra-thin films".
- Per la Sezione di Fisica Astroparticellare, Astrofisica e Cosmologia, il Secondo Premio va a Alessandro FABBRI del Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi", Roma, e Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Bologna, per la sua comunicazione "Osservazione della radiazione di Hawking nei BECs con misure di correlazione".
- Per la Sezione di Biofisica e Fisica Medica, il Secondo Premio va a Maurizio MARRALE del Dipartimento di Fisica, Università di Palermo e INFN, Sezione di Catania, per la sua comunicazione "Distribuzione di radicali liberi in dosimetri EPR irradiati con radiazioni di diverso LET".
- Per la Sezione di Fisica Applicata, il Primo Premio va a Mikkel EJRNAES di ICIB-CNR, Pozzuoli, NA, per la sua comunicazione "Single photon detectors based on parallel superconducting nanostrips". Il Secondo Premio va a Marilena BANDIERAMONTE del Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università di Catania e INAF, Osservatorio Astrofisico di Catania, per la sua comunicazione "Tomografia muonica: tecniche di ricostruzione e visualizzazione delle tracce nel Progetto Muon Portal".
- Per la Sezione di Fisica per i Beni Culturali, il Secondo Premio va a Laura PANZERI del Dipartimento di Scienza dei Materiali, Università di Milano Bicocca e INFN, Sezione di Milano Bicocca, per la sua comunicazione "Datazione delle malte architettoniche con luminescenza stimolata otticamente e radio-carbonio: problemi aperti e prospettive".
- Per la Sezione di Fisica Generale, Didattica e Storia della Fisica, il Primo Premio va a Matteo TORRE di Esplica-no profit, Villafranca di Verona e Liceo Scientifico Paritario "Alexandria", Alessandria, per la sua comunicazione "Adotta Scienza e Arte nella tua classe. Progetto divulgativo - didattico anno scolastico 2012-2013". Il Secondo Premio va a Maria MORETTI di IPSSAR "Ippolito Cavalcanti", Napoli, per la sua comunicazione "Dalla polarizzazione della luce agli stati quantici della materia "passando" per i fotoni in un ITIS a Scampia".

Assegniamo ora i cosiddetti premi di operosità scientifica; credo che per molti di noi qui presenti, il primo premio mai ricevuto sia stato proprio uno di questi premi della SIF.
I Premi di Operosità Scientifica sono di due tipi e vanno quest'anno a giovani laureati in Fisica, rispettivamente dopo il maggio 2010 e dopo il maggio 2006. Questi premi sono solitamente intitolati ai passati Presidenti della Società Italiana di Fisica. Quest'anno però abbiamo avuto due Consiglieri della SIF che purtroppo sono venuti a mancare e abbiamo voluto intitolare un premio a ciascuno di loro. Iniziamo con i laureati dopo il maggio 2010:
- Il Premio "Vincenzo Grasso", Consigliere della SIF e Segretario Cassiere che ci ha lasciato quest'anno e che ricordiamo con affetto ed emozione, va a Davide CAMPI, laureato in Fisica presso l'Università di Milano Bicocca e attualmente dottorando presso la stessa Università.
- Il Premio "Vito Volterra" va a Alessandro SFONDRINI, laureato in Fisica presso l'Università di Padova e attualmente dottorando presso l'Università di Utrecht.
- Il Premio "Laura Bassi", intitolato a una giovane signora della Fisica bolognese che fu la prima donna al mondo a diventare professore di Fisica nel '700, va a Livia SOFFI, laureata in Fisica presso l'Università di Roma "La Sapienza" e attualmente dottoranda presso la stessa Università.

Passiamo quindi ai meno giovani, laureati dopo il maggio 2006:
- Il Premio "Sergio Focardi", Consigliere e Segretario Cassiere della SIF per decenni, che, ne sono certa, molti di voi ricorderanno come un pilastro della SIF, e che ci ha

anche lui lasciato quest'estate, va a Antonia DI CRESCENZO, laureata in Fisica presso l'Università di Napoli "Federico II" e attualmente neo-dottorata presso la setssa Università.

- Il Premio "Giovanni Polvani" va a Aurora TAMBORINI, laureata in Fisica presso l'Università di Pavia e attualmente assegnista post-doc presso la stessa Università, in collaborazione con il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) di Pavia.

Adesso vorrei chiamare accanto a me la Dottoressa Emilia Campochiaro Preparata che consegnerà il Premio "Giuliano Preparata" per la Fisica Teorica, assegnato grazie al Contributo dell'Associazione per la Fondazione "Giuliano Preparata". Il Premio va a Filippo SALA, laureato in Fisica presso l'Università di Pisa e attualmente PhD student presso la Scuola Normale Superiore di Pisa, "per le sue ricerche teoriche in Fisica delle particelle, in particolare sugli accoppiamenti del bosone di Higgs, sia nel Modello Standard sia in sue estensioni supersimmetriche o di altro tipo". Ritira il premio la collega Claudia Antolini.

Passo ora a un premio di grande tradizione, il Premio "Luigi Giulotto" per la Struttura della Materia; abbiamo ricevuto un messaggio dalla Signora Gilda Olivelli Giulotto, poiché questo premio viene assegnato grazie al contributo della famiglia Giulotto, che si rallegra sulla scelta del vincitore. Il premio va a Giacomo ARGENTERO laureato in Fisica presso l'Università di Torino e attualmente PhD student presso l'Università di Vienna, "per i risultati innovativi e di grande interesse ottenuti nello studio delle superfici di magnetite mediante microscopia a effetto tunnel, in particolare sull'adsorbimento di particelle in tali sistemi".

Altro premio, recentemente intitolato a un fisico, è il Premio "Emiliano Sali" per la Fisica Atomica, Molecolare o l'Ottica. Il premio è assegnato grazie al contributo dei colleghi e amici fiorentini. Consegna il premio il Professor Massimo Inguscio. Il premio va a Chiara VITELLI, laureata in Fisica presso l'Università di Roma "La Sapienza" e attualmente post-doc presso il Centro IIT-Sapienza dell'Istituto Italiano di Tecnologia, Roma, "per i suoi validi contributi nel campo dell'Ottica Quantistica e della Fisica Atomica, e in particolare per lo sviluppo, durante il suo lavoro di tesi di dottorato, di un magnetometro in grado di raggiungere il limite di shot noise". Ritira il premio il collega Marco Bentivegna.

Assegniamo ora la Borsa "Ettore Pancini" per la Fisica Nucleare e Subnucleare, che si deve al contributo spontaneo del Dottor Roberto Mazzola del CNR di Portici. La borsa va a Marco VIGNATI, laureato in Fisica presso l'Università di Roma "La Sapienza" e attualmente ricercatore presso l'INFN, Sezione di Roma, "per i suoi originali contributi alla ricerca del neutrino di Majorana, con la rivelazione, per la prima volta, di luce Cherenkov emessa in rivelatori bolometrici, e alla ricerca di materia oscura, con l'introduzione di nuove tecniche di trigger e di analisi dei dati".

Adesso abbiamo il Premio per l'Outreach, ossia per la diffusione della cultura scientifica, assegnato ex-aequo a:

- Bianca FERRARI ex docente di scuola superiore a Savona, "per il suo costante impegno nella diffusione della cultura scientifica attraverso rapporti di collaborazione tra scuola e realtà esterne, in particolare per la sua intensa attività di promozione della fisica tra i giovani e le imprese attraverso incontri, dibattiti e dimostrazioni di esperimenti nel quadro dell'associazione 'Giovani per la Scienza' ". Ritira il Premio il Direttore della Sezione INFN di Genova, il Professor Sandro Squarcia.

- Giuseppe MUSSARDO della SISSA di Trieste, "per i suoi notevoli contributi alla diffusione della conoscenza in fisica e alla crescita della cultura scientifica presso il vasto pubblico, in particolare con la realizzazione di una serie di film-documentari originali su grandi figure della Fisica, come Boltzmann, Chandrasekhar e Salam". Il premio è stato dato, tra l'altro, prima ancora di una recente realizzazione del Professor Mussardo su Bruno Pontecorvo.

Poi abbiamo il Premio "Guglielmo Marconi", istituito per iniziative di trasferimento tecnologico. Il premio va, come riconoscimento, a una Ditta che negli ultimi cinque anni abbia conseguito o promosso, con ricerche svolte in collaborazione con l'Università e/o Istituti di ricerca, una significativa applicazione della Fisica a livello industriale. Al riconoscimento è associata una borsa per giovani ricercatori che abbiano partecipato a questa impresa di trasferimento tecnologico. La borsa è sponsorizzata dalla Fondazione Ernesto Illy e ho il piacere di chiamare accanto a me per consegnare il premio e i diplomi, la Presidente della Fondazione, la Signora Anna Rossi Illy.

Il riconoscimento va alla ditta UNITEK di San Vendemiano, Treviso, "per l'intensa collaborazione con l'ambiente della ricerca (Università di Padova e Centro Fermi di Roma) che ha portato UNITEK a partecipare alla fondazione di AtemEnergia, uno spin-off per lo sviluppo di tecnologie avanzate per sistemi di produzione di energia fotovoltaica a concentrazione (CPV)". Sono presenti i due manager della ditta UNITEK, Adriano Sartor e Antonio Da Rios.

La borsa viene data ex-aequo a due giovani:

- Stelvio GOLFETTO di UNITEK, "che nel processo di trasferimento tecnologico ha dato un contributo originale alla soluzione della gestione del calore associato alla alta concentrazione della luce solare".

- Alessandro SACCÀ, dottorando presso l'Università di Padova, "che nel processo di trasferimento tecnologico ha dato un contributo originale alla progettazione dell'ottica off-axis, non-imaging, ad alta concentrazione".

Altro premio tradizionale della SIF è il Premio per la Didattica o la Storia della Fisica che quest'anno viene assegnato per la Storia della Fisica a Massimo CAPACCIOLI dell'Università di Napoli "Federico II", con la seguente motivazione: "per il suo volume 'Arminio Nobile e la misura del cielo, ovvero le disavventure di un astronomo napoletano' (Springer, 2012), a coronamento di una carriera accademica nella quale ha costantemente curato lo studio della storia delle scienze, in particolare fisiche e astronomiche, e la diffusione della cultura scientifica".

Veniamo al Premio "Giuseppe Occhialini". Il premio è congiuntamente istituito dalla dalla Società Italiana di Fisica (SIF) e dalla Società di Fisica del Regno Unito (IOP – Institute of Physics) nel 2007, in occasione del centenario della nascita di Occhialini, allo scopo di commemorare la figura dell'insigne scienziato che ha tanto lavorato in Inghilterra e di consolidare le relazioni tra le due Società. Il premio è annuale e viene alternativamente conferito da una delle due Società a un fisico selezionato a partire da una lista di candidati proposti dall'altra. Il vincitore del Premio "Giuseppe Occhialini" 2013 è stato selezionato dal Consiglio di Presidenza della SIF a partire da una rosa di nomi sottoposta dall'Award Committee dell'IOP. La vincitrice di quest'anno è Silvia PASCOLI, dell'Institute for Particle Physics Phenomenology, Durham University, UK, "per i suoi notevoli contributi allo studio della fenomenologia del neutrino e per il suo ruolo guida in questo settore".

S. Pascoli: Vorrei porgere un grazie molto sentito alla SIF e in particolare alla Professoressa Luisa Cifarelli e all'IOP per il Premio Giuseppe Occhialini.

Un ringraziamento particolare va alla mia famiglia e ai "senior scientists" che mi hanno fatto da guida e da supporto in questi anni, il mio relatore di PhD, Professor Serguey Petcov, e di tesi di laurea, Professor Antonio Masiero,

i miei supervisors a UCLA, Professori Graciela Gelmini e Alex Kusenko, e i miei colleghi inglesi, Professori Nigel Glover, Ed Copeland e James Stirling. Negli ultimi 15 anni, la Fisica dei neutrini ha rivoluzionato la nostra conoscenza delle particelle elementari e delle loro interazioni. I neutrini sono particelle elementari che interagiscono molto debolmente con la materia tanto che la stessa Terra è praticamente trasparente per un neutrino. Tra le particelle fermioniche finora scoperte, essi sono le più elusive ma, allo stesso tempo, le più diffuse nell'Universo.

La storia della Fisica dei neutrini comincia meno di un secolo fa con l'ipotesi della loro esistenza da parte di Wolfgang Pauli. Essa riceve contributi fondamentali negli anni e decenni successivi anche da parte di fisici italiani: Enrico Fermi che ha formulato la teoria del decadimento beta e ha dato il nome stesso, "neutrino", a queste particelle, Ettore Majorana con l'ipotesi delle particelle che portano il suo nome, e Bruno Pontecorvo con l'idea delle oscillazioni, solo per menzionare alcuni pionieri illustri di questo campo.

Ancora non conosciamo tutte le proprietà dei neutrini ma negli ultimi anni si è scoperto che essi oscillano, cioè possono cambiare da un "sapore" all'altro. L'esperimento SuperKamiokande nel 1998 ne ha fornito la prima scoperta scientifica con i neutrini atmosferici. Molti altri esperimenti, come SNO, KamLAND, ICARUS, OPERA, MINOS, T2K, Daya Bay, RENO, DoubleCHOOZ, non solo hanno confermato questi risultati ma hanno anche aperto delle nuove direzioni di ricerca con la scoperta delle oscillazioni di neutrini prodotti nel Sole, negli acceleratori di particelle e nei reattori nucleari. È dell'anno scorso un risultato molto importante, la scoperta dell'unico angolo di mescolamento che era ancora mancante, il così chiamato angolo θ_{13}. Adesso abbiamo un quadro preciso dei parametri oscillativi: abbiamo misurato con buona precisione due differenze di masse al quadrato e tre angoli di mescolamento, ma la natura dei neutrini, i valori assoluti delle masse e la loro gerarchia, se diretta o inversa, e la fase di violazione della simmetria *CP* (carica-parità) rimangono da determinare.

La scoperta delle oscillazioni di neutrini gioca un ruolo molto importante nella comprensione dei componenti fondamentali della Natura. Contrariamente a quanto si credeva e a quanto predetto dal Modello Standard, le oscillazioni di neutrini implicano che essi hanno una massa. La sua origine è ancora un mistero. I neutrini hanno masse piccolissime, e quindi è possibile che esse siano dovute a un meccanismo diverso rispetto a tutti gli altri fermioni. Questi ultimi ottengono la loro massa dall'interazione con il bosone di Higgs scoperto lo scorso anno. Invece, per lo meno in alcune delle teorie più popolari, i neutrini ricevono massa grazie al meccanismo see-saw, in cui si suppone che neutrini sterili molto pesanti esistano a scale di energia molto alte. I neutrini hanno interazioni con queste particelle pesanti e la loro massa ne è la manifestazione a bassa energia. Scoprire l'origine delle masse richiede di identificare quali siano la nuova scala di energia, le nuove particelle e le loro interazioni e fornisce una nuova finestra sulla teoria fondamentale delle particelle elementari oltre il Modello Standard.

A tal fine è necessario ottenere un quadro il più dettagliato possibile sui neutrini e sulle loro proprietà. La fenomenologia dei neutrini, il mio campo di ricerca, si colloca all'interfaccia tra gli esperimenti e la teoria e si occupa di fornire un'interpretazione teorica dei dati e di identificare le strategie sperimentali più adatte a rispondere alle domande che sono tuttora aperte. Innanzitutto, quale sia la natura dei neutrini. Infatti, unici tra tutti i fermioni, i neutrini possono essere di due tipi: di Dirac, come tutti gli altri, o di Majorana, nel caso in cui i neutrini e gli antineutrini siano indistinguibili. Gli esperimenti di "neutrinoless double beta decay", tra cui GERDA e CUORE ai Laboratori Nazionali del Gran Sasso, sono di gran lunga i più sensibili alla natura dei neutrini. Basandosi sulla conoscenza attuale delle masse, è possibile predire il tasso di decadimento di questo processo: sappiamo che, se i neutrini sono quasi-degeneri in massa, gli esperimenti attuali dovrebbero vedere un segnale molto presto. Da una possibile misurazione futura di questo processo, sarà anche possibile estrarre informazione sullo spettro delle masse. Informazione sulle masse, in particolare sulla loro gerarchia, viene anche dagli esperimenti di oscillazioni a grande distanza: essi sono caratterizzati dal fatto che la produzione dei neutrini e il rivelatore si trovano a centinaia se non migliaia di chilometri di distanza, come nel caso degli esperimenti dal CERN al Gran Sasso. Studiando la probabilità di oscillazione a diverse energie con un fascio di neutrini e di antineutrini, sarà possibile determinare la gerarchia delle masse e se la simmetria *CP* sia violata o meno. Lo studio fenomenologico di questi esperimenti si occupa di capire quali siano le loro potenzialità, e quali parametri, in particolare la distanza attraversata, l'energia dei neutrini, le caratteristiche dei rivelatori, siano ottimali per una accurata determinazione dei parametri oscillativi. Oltre agli esperimenti che sono attualmente in corso come T2K, MINOS, e presto anche NOvA, la comunità scientifica sta valutando quali siano gli esperimenti più sensibili per il futuro: LBNO in Europa, LBNE negli Stati Uniti e T2HK in Giappone, e la "neutrino factory" in un futuro lontano.

In sintesi, dopo 15 anni dalla scoperta delle oscillazioni di neutrini, non solo siamo riusciti a ottenere un quadro preciso dei parametri oscillativi, ma una nuova fase si è aperta alla ricerca della natura dei neutrini, dei valori precisi delle masse e degli angoli di mescolamento e della conservazione o meno della simmetria *CP*. La risposta a queste domande ci aiuterà a capire quale sia la teoria fondamentale delle particelle elementari e delle loro interazioni e ad andare oltre il Modello Standard.

Silvia Pascoli, vincitrice del Premio "Giuseppe Occhialini" 2013 e Luisa Cifarelli.

Luisa Cifarelli con Pierluigi Campana, Simone Giani, Fabiola Gianotti, Paolo Giubellino e Guido Tonelli, vincitori del Premio "Enrico Fermi" 2013.

L. Cifarelli: Arriviamo all'ultimo premio che assegnamo oggi e che è il premio più prestigioso della Società Italiana di Fisica, ossia il Premio "Enrico Fermi". Il premio è stato istituito nel 2001 in occasione del centenario della nascita di questo straordinario fisico italiano, che tutti conoscono, per onorarne la memoria e legare il suo nome illustre alla Società Italiana di Fisica. Il premio è assegnato a uno o più Soci che abbiano particolarmente onorato la Fisica con le loro scoperte. Il premio è attribuito da una Commissione costituita da rappresentanti del CNR, dell'INAF, dell'INFN, del Centro Fermi (Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi"), dell'INGV e del Consiglio SIF, e presieduta dal Presidente della SIF.

È stato ricordato dal Professor Guido Martinelli che c'è stato un recente periodo "aureo" al CERN in cui i 5 responsabili dei 5 principali esperimenti a LHC (Large Hadron Collider) erano tutti italiani, e questo non può essere stato un caso. Quest'anno il premio è stato dunque assegnato congiuntamente, in ordine alfabetico, a Pierluigi CAMPANA dell'INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, a Simone GIANI del CERN, a Fabiola GIANOTTI del CERN, a Paolo GIUBELLINO dell'INFN, Sezione di Torino e a Guido TONELLI dell'Università di Pisa e INFN, Sezione di Pisa, "per gli importanti risultati che i cinque esperimenti – LHCb, TOTEM, ATLAS, ALICE, CMS – hanno ottenuto in grandi collaborazioni internazionali al collisore LHC del CERN durante il primo periodo di presa dati sotto l'efficace guida dei vincitori nella loro qualità di responsabili d'esperimento"

In particolare:

– a Pierluigi CAMPANA, "per la prima osservazione, con l'esperimento LHCb, della violazione della simmetria *CP* nel decadimento dei mesoni B_s, e per le numerose misure di alta precisione nella Fisica dei 'sapori pesanti'";

– a Simone GIANI, "per la prima conferma diretta, con l'esperimento TOTEM, a energie di collisore finora ineguagliate, che la sezione d'urto totale protone-protone cresce con l'energia, e per ulteriori studi di approfondimento e precisione sulla struttura del protone";

– a Fabiola GIANOTTI, "per la scoperta, con l'esperimento ATLAS, di una nuova fondamentale particella con circa 125 GeV di massa e proprietà consistenti con un bosone di Higgs, teoricamente previsto da quasi 50 anni, la cui esistenza garantisce un balzo in avanti nella comprensione del Modello Standard della Fisica delle particelle";

– a Paolo GIUBELLINO, "per la rivelazione, con l'esperimento ALICE, delle nuove caratteristiche del più denso e caldo stato della materia mai prodotto nelle collisioni nucleo-nucleo di altissima energia, in particolare quelle del mezzo deconfinato fortemente interagente, di breve vita e rapida evoluzione, generato in tali condizioni estreme";

– a Guido TONELLI, "per la scoperta, con l'esperimento CMS, di una nuova fondamentale particella con circa 125 GeV di massa e proprietà consistenti con un bosone di Higgs, teoricamente previsto da quasi 50 anni, la cui esistenza garantisce un balzo in avanti nella comprensione del Modello Standard della Fisica delle particelle".

Ho adesso l'immenso piacere di dare la parola a tutti i vincitori del Premio Fermi 2013.

P. Campana: L'esperimento LHCb al collider LHC del CERN intende cercare effetti dovuti a possibile Nuova Fisica oltre il Modello Standard in processi che potrebbero risultare alterati rispetto alle previsioni teoriche, proprio a causa dello scambio di particelle virtuali (non ancora rivelate).

Tale metodica che va sotto il nome di "ricerche indirette" è complementare all'uso di tutta l'energia dell'LHC per generare direttamente tali nuove particelle, come accade nelle ricerche in ATLAS e CMS.

La ricerca di Nuova Fisica con misure di precisione ha un glorioso passato: la nascita della moderna Elettrodinamica Quantistica dall'osservazione Lamb shift, la determinazione della scala del quark top dalle misure di precisione al LEP e, più recentemente, l'ipotesi che l'Higgs avesse una massa intorno ai 100 GeV che derivava da un fit ai parametri elettrodeboli del Modello Standard.

A LHC (come del resto era avvenuto alle *B*-factories) si sfrutta la grande disponibilità di adroni con quark pesanti (beauty e charm). Tali particelle hanno la caratteristica di avere un forte accoppiamento a oggetti di massa elevata (quali, per esempio, quelli ipoteticamente presenti in SuperSimmetria), e sono facilmente rilevabili, dato che hanno tempi di decadimento ed energie che consentono loro di "vivere" nei rivelatori sino ad alcuni centimetri.

Le ricerche di Nuova Fisica vengono effettuate in decadimenti molto rari di tali particelle, nello studio di effetti di violazione di *CP* ed in fenomeni di FCNC (variazioni di flavour dovute a correnti neutre), processi proibiti nel Modello Standard. La presenza di nuove particelle, coinvolte in loop o in diagrammi "a pinguino" può alterare anche sensibilmente le previsioni teoriche.

LHCb ha raccolto una luminosità di circa 3 fb^{-1} durante il Run 1 di LHC (2010–2012). Tali dati hanno permesso un notevole miglioramento delle conoscenze di alcuni dei parametri fondamentali del Modello Standard, rispetto a quanto fatto alle *B*-factories o al precedente collisore adronico di Fermilab. Esamineremo qui alcuni dei più importanti risultati.

I decadimenti dei mesoni B^0 e B_s^0 in due muoni sono due processi fortemente soppressi nel Modello Standard (accadono rispettivamente 3 volte su 10^9 e 1 volta su 10^{10}). Nuove particelle che intervengono in questi decadimenti potrebbero variare in modo significativo tali valori. LHCb ha evidenziato per la prima volta nel 2012 il canale con B_s^0 (risultato poi confermato di nuovo nel 2013 da LHCb e anche da CMS) mentre la statistica non è ancora sufficiente per una misura per quello con il B^0. I risultati sono per ora in accordo con il Modello Standard, ma già restringono lo spazio dei parametri per alcuni dei modelli supersimmetrici, in analogia con quanto ATLAS e CMS stanno facendo con le ricerche dirette.

Altro capitolo di studio riguarda gli effetti non previsti dal Modello Standard nella violazione di *CP* nei decadimenti del mesone B_s^0. Tali effetti sono parametrizzati da una fase (ϕ_s) che assume un valore non nullo nel caso di presenza di nuove particelle virtuali. Anche qui si trovano valori compatibili con il Modello Standard. Lo scopo ultimo è di raggiungere una precisione vicina alle previsioni teoriche.

LHCb ha recentemente misurato, per la prima volta, la violazione di *CP* nei decadimenti adronici del mesone B_s^0. In tal modo questa particella si aggiunge al novero di quelle per le quali la violazione di *CP* è accertata (il K^0 nel 1964, il B^0 nel 2000 e il B^{+-} nel 2012).

La Fisica del charm rappresenta un ampio serbatoio di misure per LHCb, anche se non previste inizialmente. Infatti, alla partenza di LHC, ci si è resi conto che da una parte l'elevata produzione di charm nelle collisioni protone-protone e dall'altra la ragionevole efficienza di trigger dell'esperimento, aprivano un'ampia gamma di misure. In particolare lo studio approfondito delle oscillazioni del mesone D^0 (peraltro già osservato alle *B*-factories) e della violazione di *CP* nei decadimenti adronici. LHCb ha effettuato diverse misure di questo tipo che richiedono grande statistica e perfetta dominanza degli effetti sistematici. Anche qui, per ora, non sembrano esserci evidenze di deviazione dalle attese, anche se non si è ancora esaminata l'intera base di dati.

LHCb ha prodotto risultati anche in campi non direttamente collegati alle ricerche sopra descritte, quali ad esempio lo studio dei fenomeni di QCD nelle interazioni adroniche, nella formazione di quarkonia (stati legati di quark pesanti) e in spettroscopia, per esempio con la misura dei numeri quantici della risonanza *X*(3872), che sfugge finora a una classificazione nell'ambito del modello a quark.

In conclusione, la Fisica del flavour rappresenta un importante strumento per la scoperta di nuovi fenomeni e le eccellenti prestazioni di LHCb hanno prodotto in questi anni un ampio spettro di risultati che permetteranno ai teorici di definire meglio lo spazio accessibile ai parametri della Nuova Fisica.

Il Modello Standard resiste agli assalti delle misure sperimentali, ma ancora molto spazio è disponibile per dimostrare che esso non rappresenta la teoria finale delle particelle elementari.

S. Giani: The TOTEM experiment consists of a system of detectors integrated in the Large Hadron Collider (LHC) and in the Compact Muon Solenoid (CMS) apparatus at the Interaction Point 5 (IP5) at CERN.

The movable devices of TOTEM, called Roman Pots (RPs), are mechanical systems integrated in the accelerator at about 220 m on both sides from IP5. They contain edgeless silicon detectors readout by a matrix of strips and allow their vertical and/or horizontal insertion to distances of ~1 mm to the beam.

The tracking detectors of TOTEM, called T1 and T2, are placed in the CMS endcaps at distances of ~9 m and ~ 13.5 m, respectively, on both sides of IP5. The T1 telescope is composed of cathode strip chambers (CSC) detectors and covers the pseudo-rapidity range $3.1 \le |\eta| \le 4.7$. The T2 telescope is based on gas electron multiplier (GEM) detectors and covers the pseudo-rapidity range $5.3 \le |\eta| \le 6.5$.

The RPs silicon detectors allow the detection of elastically or diffractively scattered protons at low four-momentum transfer (hence at small scattering angles) from the hadronic collisions at the LHC energy of $\sqrt{s} = 7$ TeV. The T1 and T2 telescopes together have acceptance for about 95% of the proton-proton inclusive inelastic collisions cross-section at LHC.

Proton-proton elastic scattering is a probe to investigate the internal structure of the proton. Measurements at the CERN ISR (Intersecting Storage Rings) almost 40 years ago showed evidence for a dip, followed by a broad peak, in the (otherwise monotonic) proton-proton elastic differential cross-section at $\sqrt{s}$ energies between 23 GeV and 63 GeV. In the Eikonal representation, this implies the signature of a diffractive structure in analogy to Fraunhofer interference in optics. The SPS at CERN and the Tevatron at FNAL, being proton-antiproton colliders at larger energies than the ISR, observed a smooth shoulder rather than a dip in the proton-antiproton differential elastic cross-section. Therefore the TOTEM experiment at LHC was in a unique position to answer the question whether the diffractive structure would still exist in proton-proton collisions at $\sqrt{s}$ energies of 7 TeV, i.e. even larger than the SPS and the Tevatron, and over two orders of magnitude larger than the ISR energies. By reconstructing the angles of the elastically scattered protons (including a full transport matrix through the LHC magnets lattice), TOTEM measured the proton-proton elastic differential cross-section in the range of square four-momentum transfer $0.36 < |t| < 2.5$ GeV^2, as is shown in fig. 1.

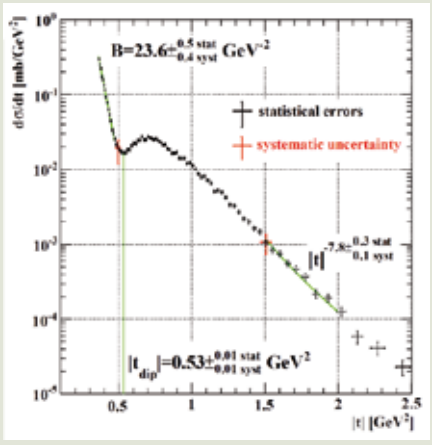


Fig. 1 TOTEM pp elastic differential cross-section at $\sqrt{s} = 7$ TeV.

The results give experimental evidence that the presence of the diffractive dip is confirmed at high energies for proton-proton scattering, thus indicating that the differences observed in proton-antiproton hadronic collisions are due to the role played by the antiproton (they may be described via the odd degree terms in the scattering diagrams). Moreover, the dip position shifted to lower $|t|$ values (than at the ISR), and the increase (with respect to the ISR) of the *B* slope describing the exponential behavior of the differential cross-section at low $|t|$, may be interpreted theoretically as an increase of the peripherality of the proton contents. Finally, it should be observed that while the power-law dependence of the differential cross-section for large $|t|$ appears to confirm the perturbative QCD predictions of independence on $\sqrt{s}$, none of the theoretical models published prior to the TOTEM results could fully describe the data in terms of slopes, dip position and normalization.

The TOTEM experiment was also designed to measure the elastic, inelastic and total proton-proton hadronic cross-sections minimizing empirical systematics and dependency on theoretical models. In fact, the capability of the experiment to measure directly the elastic and inelastic rates N_{el}, N_{inel} via independent detectors, combined with the Optical Theorem relations dependent on the real to imaginary ratio ρ (fitted by the COMPETE collaboration) of the forward scattering amplitude (equations (1), (2)), allow the determination of the elastic, inelastic and total hadronic cross-sections by a set of complementary methods:

$$(1)\quad \sigma_{tot}^2 = \frac{16\pi(\hbar c)^2}{1+\rho^2}\left.\frac{d\sigma_{el}}{dt}\right|_{t=0}, \qquad (2)\quad \sigma_{tot} = \frac{16\pi(\hbar c)^2}{1+\rho^2}\frac{dN_{el}/dt|_{t=0}}{N_{el}+N_{inel}}.$$

The elastic scattering cross-section can be computed by direct integration of the differential distribution extrapolated to the Optical Point ($t = 0$). For this purpose TOTEM took data during special LHC runs to measure $|t|$ values as low as 5×10^{-3} GeV^2, thus minimizing the extrapolation to $t = 0$ uncertainty (and at the same time remaining conservatively far from the Coulomb interference region). Such a measurement depends on the luminosity L (measured by CMS detectors) but not on ρ. Alternatively, measuring simultaneously also the inelastic rates with the T1 and T2 telescopes, TOTEM could determine the luminosity independent sum of the elastic and inelastic cross-sections from (2) and their luminosity independent ratio, thus obtaining a measurement of the elastic cross-section which depends on ρ but not on the luminosity. In summary, TOTEM obtained the following results:

σ_{el} (ρ-independent) = 25.4 ± 1.1 mb , σ_{el} (L-independent) = 25.1 ± 1.1 mb .

The inelastic cross-section could be measured directly by TOTEM, with the required physics corrections, by measuring the rates with the T1 and T2 telescopes. Such a measurement depends on the luminosity L (measured by CMS detectors) but not on ρ. Alternatively, measuring simultaneously also the elastic rates with the RPs detectors, TOTEM could determine the luminosity independent sum of the elastic and inelastic cross-sections from (2) and their luminosity independent ratio, thus obtaining a measurement of the inelastic cross-section which depends on ρ but not on the luminosity. Finally, computing the total cross-section from (1) via the differential elastic distribution at the Optical Point, and the elastic cross-section via direct integration, by subtraction it is possible to determine the fully inclusive inelastic cross-section, free from any model-dependence on diffractive and low-mass forward extrapolations.
In summary, TOTEM obtained the following results:

σ_{inel} (ρ-independent) = 73.7 ± 3.4 mb, σ_{inel} (L-independent) = 72.9 ± 1.5 mb,
σ_{inel} (inclusive) = 73.2 ± 1.3 mb .

The total cross-section can be determined via the extrapolation to the Optical Point of the elastic differential distribution applying the Optical Theorem relation (1), depending on ρ and on the luminosity. Alternatively, the total cross-section can be determined via the Optical Theorem relation (2) in a luminosity independent way using the measured elastic and inelastic rates. Finally, the total cross-section can be computed as the sum of the ρ independent elastic and inelastic cross-sections. In summary TOTEM obtained the following results:

σ_{tot} (ρ-independent) = 99.1 ± 4.3mb σ_{tot} (L-independent) = 98.0 ± 2.5mb
σ_{tot} (optical) = 98.6 ± 2.2 mb .

These results provide direct experimental evidence of the growth of the total hadronic proton-proton cross-section as a function of the $\sqrt{s}$ energy up to the multi-TeV range (7 TeV). This may be interpreted as an increase of the effective proton dimensions with energy (or a change of its internal dynamics). The precision of the TOTEM measurements sets stringent constraints on the theoretical models describing the high energy evolution of the total cross-section, and allows the benchmarking of the ions to proton extrapolations made in cosmic ray data based on Glauber's formalism (fig. 2).

In conclusion, it should be observed that of particular interest is the elastic to total cross-section ratio, which is luminosity independent and ρ independent: $\sigma_{el} / \sigma_{tot} = 0.257 \pm 0.005$. This precise result by TOTEM[1] demonstrates the sharp rise of this ratio as function of $\sqrt{s}$, which is interpreted theoretically as an increase of the proton opacity.

[1] *EPL* 95 (2011) 41001 ; *EPL* 96 (2011) 21002 ; *EPL* 101 (2013) 21002/3/4 .

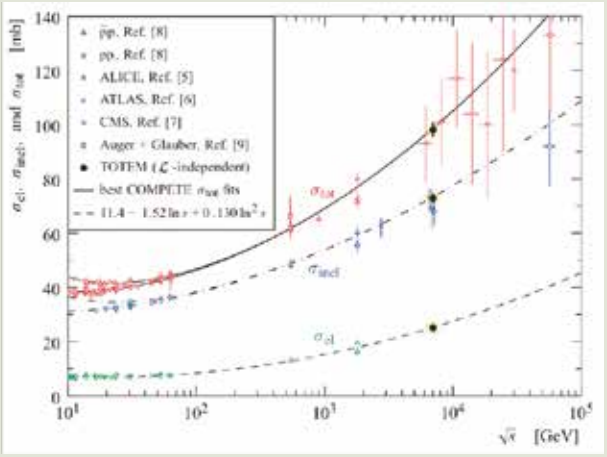


Fig. 2 TOTEM pp total, inelastic and elastic cross-sections at $\sqrt{s}$ = 7 TeV.

F. Gianotti: Nel mio intervento illustrerò la scoperta del bosone di Higgs.

Sono estremamente onorata e grata di ricevere il prestigiosissimo Premio Fermi della Società Italiana di Fisica. Vorrei condividere questo riconoscimento con i miei colleghi di ATLAS, in particolare con le centinaia di fisici, ingegneri e tecnici italiani che hanno contribuito all'esperimento nel corso di più di vent'anni.

La scoperta del bosone di Higgs da parte degli esperimenti ATLAS[2] e CMS[3] al Large Hadron Collider[4] (LHC) del CERN rappresenta il culmine di un lungo cammino. Conclude infatti un percorso teorico e sperimentale durato decenni (fig. 3) che ha edificato, passo dopo passo, il Modello Standard (MS) delle particelle elementari e delle loro interazioni; un percorso iniziato proprio da Enrico Fermi negli anni '30 con la teoria delle interazioni deboli, proseguito negli anni '50 con le teorie di Yang e Mills, negli anni '60 con il modello a quark e il meccanismo di rottura della simmetria in teorie di gauge (dovuto fra gli altri a Robert Brout e François Englert[5] e Peter Higgs[6, 7]), e negli anni '70 con la formulazione della teoria unificata delle interazioni elettrodeboli e della QCD. Altrettanto cruciali sono state le scoperte e misure che hanno posto il MS su solide basi sperimentali: fra queste, l'osservazione delle correnti deboli neutre, la rivelazione di quark a leptoni pesanti, la scoperta dei bosoni di gauge W e Z e le misure di precisione effettuate al LEP e altri acceleratori. La scoperta del bosone di Higgs all'LHC, annunciata il 4 luglio 2012, completa il Modello Standard e ne sancisce il trionfo più recente.

Questo traguardo è stato possibile grazie alla realizzazione

[2] ATLAS Collaboration, Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, *Phys. Lett. B,* 716 (2012) 1.

[3] CMS Collaboration, Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, *Phys. Lett. B,* 716 (2012) 30.

[4] L. Evans and P. Bryant (Eds.), LHC machine, *JINST* 3 (2008) S08001.

[5] F. Englert and R. Brout, Broken Symmetry and the Mass of Gauge Vector Mesons, *Phys. Rev. Lett.,* 13 (1964) 321.

[6] P. W. Higgs, Broken symmetries, massless particles and gauge fields, *Phys. Lett.,* 12 (1964) 132.

[7] P. W. Higgs, Broken symmetries and the masses of the gauge bosons, *Phys. Rev. Lett.,* 13 (1964) 508.

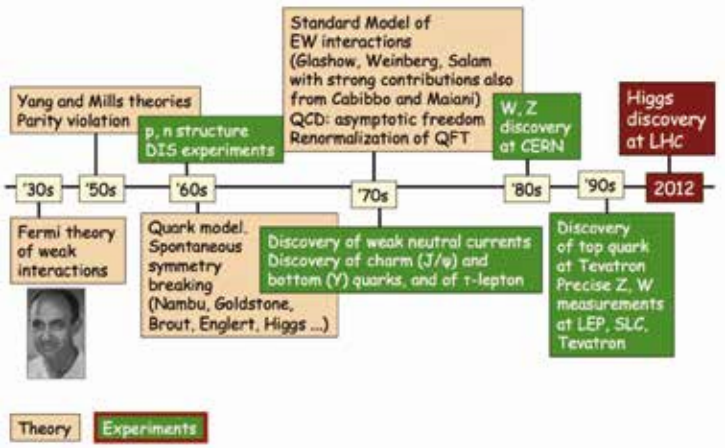


Fig. 3 Alcune delle principali pietre miliari teoriche e sperimentali del Modello Standard.

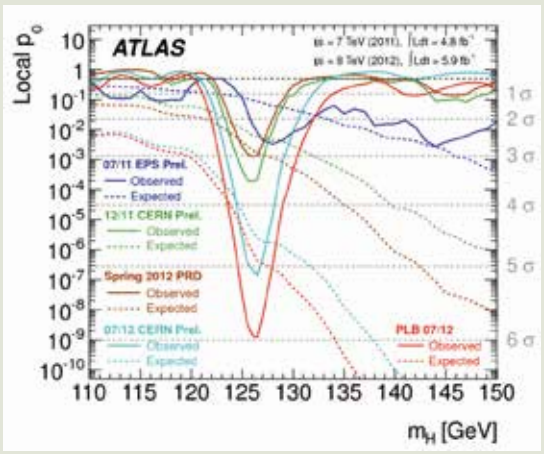


Fig. 4 Le curve continue mostrano le probabilità, ottenute nel corso del 2011 e 2012, che le osservazioni dell'esperimento ATLAS nella ricerca del bosone di Higgs siano dovute puramente a processi di fondo, in funzione del valore ipotizzato di massa per il bosone di Higgs stesso. Le curve tratteggiate indicano i risultati attesi per un segnale di bosone di Higgs con massa indicata in ascissa.

dell'acceleratore LHC e dei suoi esperimenti, strumenti senza precedenti in termini di complessità, tecnologia e prestazioni. Sono passati quasi trent'anni dalle prime discussioni sul potenziale di un tale progetto (in uno storico workshop tenutosi a Losanna nel 1984) alle prime collisioni dei fasci di protoni ad alta energia (7 TeV nel centro di massa) il 30 marzo 2010. L'LHC ha richiesto l'introduzione di concetti nuovi e lo sviluppo di tecnologie di punta in molti settori, grandi sforzi della comunità scientifica internazionale, idee ingegnose unite a una grande perseveranza per risolvere i problemi, le sfide e i momenti difficili di cui il cammino è stato seminato.

L'ossatura dell'acceleratore è costituita da 1232 magneti superconduttori di alta tecnologia (un terzo dei quali costruiti dall'industria italiana) che contengono 8000 km di filamenti di niobio-titanio immersi in un bagno di circa 100 tonnellate di elio superfluido alla temperatura di 1.9 K. Gli esperimenti sono pure apparati ambiziosissimi. ATLAS ha le dimensioni di circa mezza cattedrale di Notre Dame e contiene cento milioni di sensori. La sua realizzazione ha richiesto migliaia di controlli di qualità dei vari componenti, quindici anni di verifiche con fasci di test, vent'anni di lavoro di simulazione del rivelatore e del suo potenziale di Fisica, otto anni di test dell'ambiziosa e potente griglia di calcolo, diciassette Technical Design Reports. Circa 3000 scienziati provenienti da 38 paesi di tutto il mondo partecipano all'esperimento. Fra questi, circa 200 scienziati italiani dell' INFN e delle Università associate hanno dato contributi di primo piano alla costruzione del rivelatore, allo sviluppo del sistema di calcolo e dei programmi software e a un gran numero di studi di Fisica (fra i quali la scoperta del bosone di Higgs). Grazie alla qualità del lavoro effettuato dalla comunità di LHC, acceleratore e esperimenti hanno funzionato in modo eccellente fin dall'inizio delle operazioni alla fine del 2009, e la scoperta del bosone di Higgs è arrivata prestissimo, molto prima di quanto ci si aspettasse.

L'evoluzione storica del segnale è illustrata in fig.4. Le prime avvisaglie di un eccesso di eventi su una larga zona di massa attorno a 130 GeV furono presentate alla conferenza EPS-HEP nel luglio 2011. Alla fine di quell'anno ATLAS aveva un eccesso di eventi a livello di 3σ attorno a 125 GeV, un risultato promettente ma non ancora conclusivo. Il giorno dell'annuncio della scoperta (4 luglio 2012) la significatività statistica del segnale era cresciuta a 5σ, raggiungendo 6σ un mese più tardi al momento della pubblicazione (vedi nota 2). Non è stata una scoperta facile: a titolo di esempio, si produce un evento $H \to 4e$ ogni 10^{13} collisioni fra i fasci di protoni. Estrarre un segnale così tenue, e in alcuni casi sommerso da fondi molto elevati, ha richiesto quindi prestazioni ottimali del rivelatore, eccellente qualità dei dati, idee ingegnose a livello di analisi, e un lavoro sperimentale meticolosissimo effettuato in gran parte da giovani fisici (molti dei quali Italiani).

Al Congresso SIF del settembre 2013 ATLAS ha presentato risultati di studi del bosone di Higgs basati sull'intero campione di dati (circa 25 fb^{-1}). Il segnale (fig. 5) è oggi visibile a occhio nudo nei tre canali principali ($H \to \gamma\gamma$, $H \to 4\ell$, $H \to \ell\nu\ell\nu$) e la significatività statistica è salita a circa 10σ. Ovvero, la probabilità che l'eccesso a 125 GeV sia dovuto a una fluttuazione dei processi di fondo è pari a 10^{-24}. In totale, circa 700 eventi di segnale sono selezionati dall'analisi.

Già qualche mese dopo la scoperta gli studi si sono focalizzati sulle misure delle proprietà di questa nuova particella. In particolare, le due caratteristiche salienti di un bosone di Higgs, cioè il fatto che si accoppia alle altre particelle in modo proporzionale alle loro masse (come richiesto dal meccanismo di rottura della simmetria elettrodebole) e che è una particella scalare (spin zero), sono state recentemente verificate con buona precisione.

I tassi di produzione misurati da ATLAS[8] sono in buon accordo con le previsioni del Modello Standard (fig. 6) entro le incertezze teoriche e sperimentali (30–40% nei canali di decadimento in due bosoni), e ipotesi di spin-parità ($J^P = 0^-, 1^+, 1^-, 2^+$) diverse da quella predetta dal Modello Standard ($J^P = 0^+$) sono state rigettate a più del 99% di livello di confidenza nella maggior parte dei casi[9].

La tabella delle particelle elementari si arricchisce quindi di un nuovo elemento, una particella molto speciale, diversa dalle sedici scoperte precedentemente. Non si tratta infatti né di una particella di materia né di una particella portatrice di forza, non è un fermione né un bosone vettore: è una particella che dà massa, e il primo scalare elementare (per quanto ne sappiamo oggi) osservato in natura. Quest'ultimo aspetto ha implicazioni importantissime anche per la comprensione dell'evoluzione dell'universo: teorie cosmologiche accreditate prevedono infatti che l'universo abbia subito una espansione iniziale rapidissima (denominata "inflazione"), scatenata proprio da un campo scalare.

[8] ATLAS Collaboration, Measurements of Higgs boson production and couplings in diboson final states with the ATLAS detector at the LHC, *Phys. Lett. B,* 726 (2013) 88.

[9] ATLAS Collaboration, Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using ATLAS data, *Phys. Lett. B,* 726 (2013) 120.

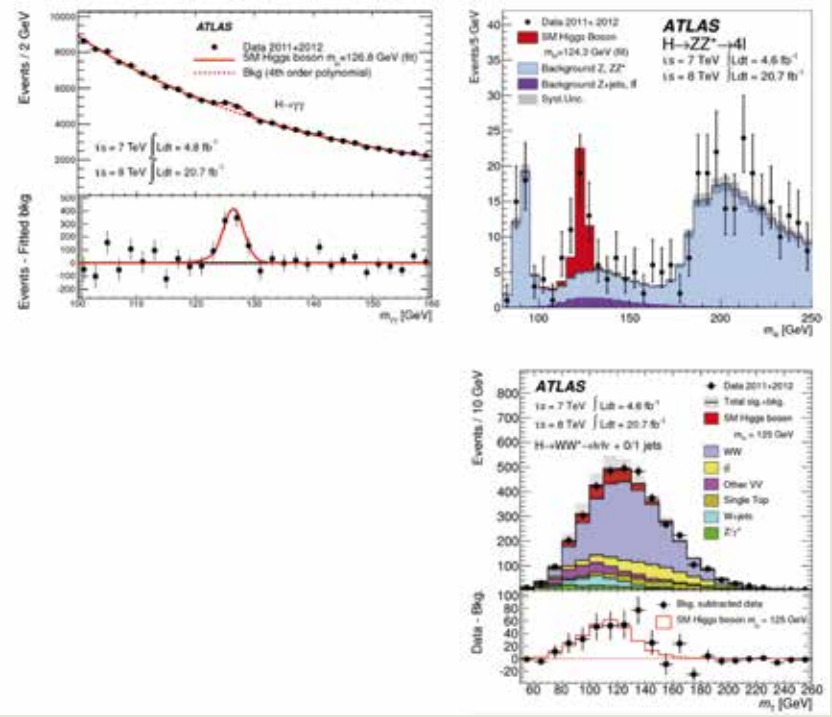


Fig. 5 Masse invarianti ricostruite in eventi selezionati dall'analisi H → γγ (in alto a sinistra), H → ZZ*→ 4ℓ (in alto a destra) e H → WW* → ℓνℓν (in basso a destra) in ATLAS utilizzando l'intero campione di dati dell'esperimento. Negli ultimi due casi i dati (punti con barre di errore) sono paragonati alle distribuzioni previste dal Modello Standard per processi di fondo e per il segnale dovuto ad un bosone di Higgs.

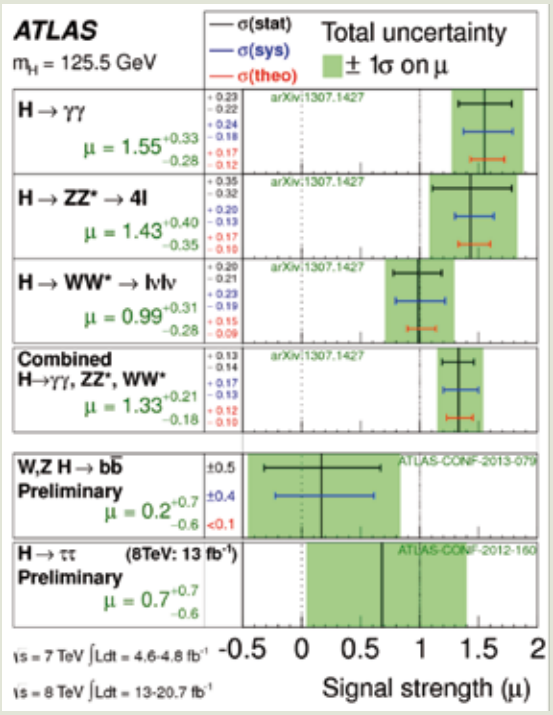


Fig. 6 Tassi di produzione del bosone di Higgs misurati con i dati dell'esperimento ATLAS per vari canali di decadimento, normalizzati alle previsioni per un bosone di Higgs standard di massa 125 GeV. Le linee verticali mostrano il valore centrale delle misure, le bande verticali l'incertezza totale, e le barre orizzontali separatamente le incertezze statistiche, sistematiche e teoriche.

In conclusione, la scoperta del bosone di Higgs da parte degli esperimenti ATLAS e CMS all'acceleratore LHC del CERN rappresenta un passo avanti gigantesco per la comprensione della fisica fondamentale e della struttura ed evoluzione dell'universo. Questo conseguimento ha permesso, dopo 80 anni di arduo e ingegnoso lavoro teorico e sperimentale, di completare il Modello Standard delle particelle elementari e delle loro interazioni. Il cammino è tuttavia ancora lungo, perché il Modello Standard non è la teoria finale delle particelle elementari; non è in grado, infatti, di spiegare numerose questioni aperte, quali la natura della materia oscura e dell'energia oscura (che costituiscono circa il 96% dell'universo), l'origine dell'asimmetria fra materia e antimateria, come conciliare la gravità con le altre forze. Negli anni a venire l'LHC ci permetterà di affrontare alcune di queste e altre questioni e, aspetto forse ancora più importante, di capire quali sono le domande giuste da porci e come andare avanti.

P. Giubellino: ALICE (A Large Ion Collider Experiment) è una grande collaborazione internazionale, che conta oltre mille fisici di più di 140 istituzioni di ricerca sparse in 37 paesi del mondo. Questi fisici hanno lavorato insieme per oltre vent'anni per ottenere i risultati che riassumerò qui molto brevemente: vent'anni di lavoro appassionato, in cui ognuno ha portato al progetto comune le sue conoscenze, la sua creatività, il suo tenace lavoro. I risultati appartengono quindi a tutti noi che abbiamo lavorato insieme, condividendo momenti difficili e momenti entusiasmanti, e sopratutto ai più giovani, ai quasi quattrocento studenti che hanno fatto di ALICE il loro terreno di apprendimento, portando loro per primi dedizione e nuove idee.

ALICE usa l'LHC come strumento per studiare le proprietà della materia fortemente interagente in condizioni estreme di densità e temperatura, raggiunte facendo collidere nuclei di piombo alle più alte energie disponibili. Sono le collisioni di più alta energia mai prodotte in laboratorio. L'interesse di questi studi deriva da una proprietà fondamentale delle interazioni forti, la cosiddetta "libertà asintotica": l'interazione forte cresce con la distanza, e quindi portando un sistema di quark a distanze molto piccole essi si troveranno ad essere localmente liberi. Studiando come il sistema così ottenuto si espande e come i quark tornano ad aggregarsi in adroni da un lato si possono studiare le proprietà della materia di cui era costituito l'universo primordiale, nei primi microsecondi dal Big Bang, dall'altro si può comprendere il processo di formazione degli adroni, e in particolare come acquisiscano la loro massa, che, in sostanza, è la massa di tutto ciò che ci sta intorno, a partire da quark che da liberi hanno massa pari ad appena un centesimo di quella di un protone o di un neutrone.

I primi tre anni di presa dati di ALICE hanno permesso in primo luogo di studiare le proprietà fondamentali di questa effimera goccia di materia primordiale creata nelle collisioni di ioni piombo all'LHC: il volume del sistema, la sua densità (40 volte maggiore di quella di una stella a neutroni) e la sua temperatura (la più alta mai misurata dagli esseri umani). Si è poi studiata l'evoluzione spazio-temporale del sistema, da cui sono stati derivati parametri fondamentali quali il rapporto fra viscosità e densità di entropia, che è risultato essere prossimo a zero, qualificando il plasma di quark e gluoni anche a temperature così elevate come un liquido quasi perfetto. Questa è una caratteristica fondamentale, in quanto fa sì che il sistema, nella sua espansione, conservi memoria della struttura iniziale, che può essere studiata analizzando le fattezze dello stato finale.

I risultati più innovativi di ALICE sono venuti dallo studio dei sapori (flavour) pesanti, e in particolare dei quark charm. Questi quark, grazie alla loro grande massa, possono essere generati solo nelle prime fasi della collisione, e sono quindi uno strumento ideale per studiarne l'intera evoluzione. Per la prima volta si é osservata la produzione di stati legati charm-anticharm (particella J/ψ) formati per associazione "termica" nel sistema di quark charm liberi, una dimostrazione diretta dell'avvenuto deconfinamento. Analogamente, si è osservato che i quark charm partecipano delle proprietà idrodinamiche del sistema, e perdono energia per interazione con il sistema deconfinato come previsto teoricamente, ovvero in modo meno intenso dei quark leggeri.

In altre parole, un quadro coerente delle caratteristiche del plasma di quark e gluoni, lo stato in cui si trovava l'universo primordiale, comincia a emergere dai dati. È quindi con entusiasmo che ci avviamo a iniziare il secondo periodo di presa dati, con un rivelatore ampiamente migliorato, e

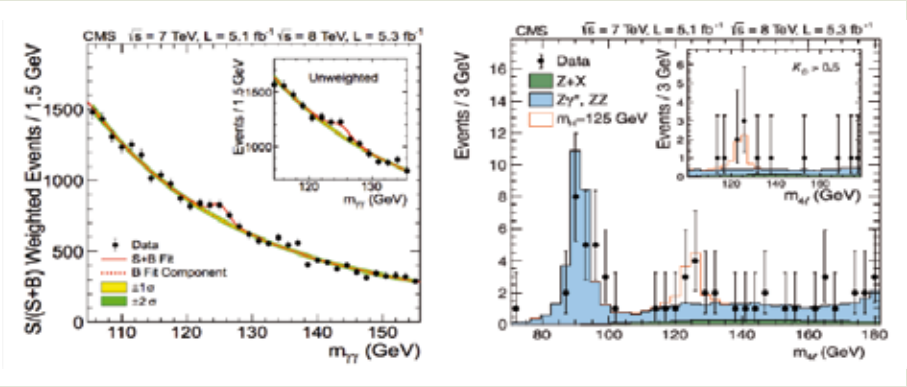


Fig. 7 Di-photon invariant mass distributions (left) and four-lepton invariant mass distributions (right).

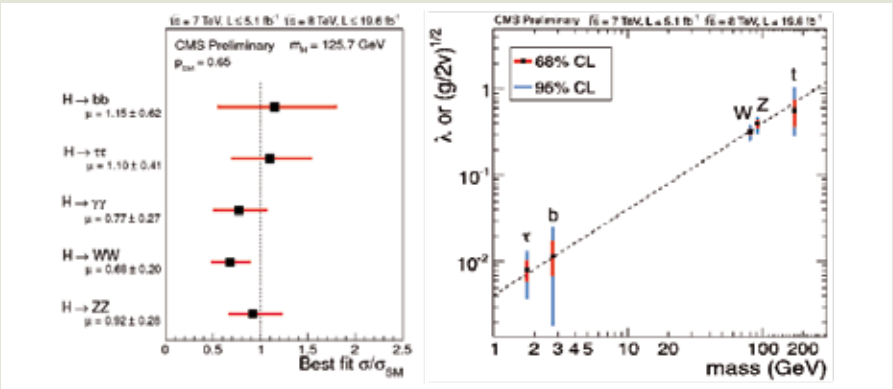


Fig. 8 Preliminary measurements of the μ ratio (left) and of the couplings (right). Dotted lines are the SM predictions.

ancor di più guardiamo al futuro più lontano, quando entrerà in funzione la seconda generazione dei rivelatori di ALICE che, partendo da quando abbiamo appreso durante questi anni, miglioreremo radicalmente.

G. Tonelli: The steps of the discovery of a (the) Higgs boson by CMS are briefly outlined.

An elegant conjecture (almost 50 years old) - Back in 1964, Robert Brout and Francois Englert in Brussels and, independently, Peter Higgs in Edinburgh proposed a mechanism to generate large masses for the W and Z bosons carrying the weak interactions, while the photon remained massless[10, 11, 12]. The absolutely innovative approach consisted in getting these results into a framework in which the elegant symmetry of the underlying gauge equations was fully preserved being the vacuum responsible for breaking the exact symmetries of the Lagrangian. As a consequence of this mechanism a new scalar field should pervade every corner of our universe and the excitations of this field should manifest themselves in a real spin 0 particle.

The Large Hadron Collider (LHC) and the Compact Muon Solenoid (CMS) experiment - Physicists have been hunting the Higgs boson ever since the mid-1970s, when the Standard Model (SM) gained widespread acceptance. The discovery of the elusive particle was among the highest priorities for several generations of experiments. The project of building the Large Hadron Collider (LHC) and its general-purpose detectors, ATLAS and CMS, was mostly driven by the goal of discovering the SM Higgs boson or alternative mechanisms for the electroweak symmetry breaking.

The LHC is a gigantic accelerator equipped with thousands of superconducting magnets and accelerating cavities distributed in a 27 km tunnel, 100 m underground, close to Geneva. In normal operation it accelerates about 1400 packets of particles, each one containing roughly 1.5×10^{11} protons, up to an energy of 3.5 (4.0) TeV per beam corresponding to a center-of-mass energy of 7(8) TeV. Packets of protons are brought to collisions every 50 ns in the interaction regions surrounded by the large detectors.

CMS is a modern, 4π detector based on a sophisticated tracking system embedded in a 3.8 T solenoidal magnetic field[13]. High performance crystals are used for the electromagnetic calorimeters while a more conventional approach is used to absorb and detect hadrons. The return yoke of the magnet is instrumented with huge sets of muon chambers covering a large fraction of the solid angle. A complex system of trigger and data acquisition selects the most interesting events that are permanently recorded for offline analysis. A distributed system of computing, based on GRID technologies, is used to reconstruct, store and analyse the data. Thousands of physicists and engineers worked feverishly for many years to build this marvel of technology. The efforts continue nowadays to maintain and operate detectors and computing infrastructures, while physics results are continuously extracted from data.

The discovery of a new boson - The search for the Higgs boson in LHC data is based on several different production mechanisms and many decay modes. Since direct searches and precision electroweak measurements constrained the Higgs boson mass to be within 114 and 158 GeV/c^2, a special attention was devoted to the search in this region. The decay modes with the highest sensitivity in the low-mass region, are the bosonic channels and actually the evidence was always the strongest in the final states with the best mass resolution, $H \to \gamma\gamma$ and $H \to ZZ \to 4\ell$. Results in these channels started appearing as soon as more than 5 fb^{-1} of data were analyzed and they definitely drove the discovery of July 4th, 2012

[10] F. Englert and R. Brout, Broken symmetry and the mass of gauge vector mesons, *Phys. Rev. Lett.*, 321 (1964) 13.

[11] P. W. Higgs, Broken symmetries, massless particles and gauge fields, *Phys. Lett.*, 132 (1964) 12.

[12] P. W. Higgs, Broken symmetries and the masses of gauge bosons, *Phys. Rev. Lett.*, 508 (1964) 13.

[13] The CMS Collaboration, The CMS experiment at the CERN LHC, *JINST* 3 (2008) S08004.

with narrow bumps clearly showing-up around 125 GeV/c^2 (fig. 7). The strong signals detected in the decay of the new particle to two photons indicated that the new particle was a boson with spin different from one while the mass of the new particle was preliminarily measured to be 125.3 ± 0.5GeV/c^2.[14]

New data after the discovery and preliminary results on the properties - New data have been collected after the discovery bringing the total to more than 25 fb^{-1}. The signal is gaining further strength and a slightly improved measurement of the mass yields now 125.7 ± 0.4 GeV/c^2 Preliminary results on the new data show evidence of broad excess appearing also in the fermionic channels. Combining the results of the decay mode $H \to \tau\tau$ with the ones for the process $VH \to bb$, we have obtained the first evidence (3.4 σ) that the new boson does couple directly to the 3rd-generation down-type fermions.

The quantum numbers of the new particle can be measured by studying the angular distributions of the decay products in the bosonic channels ($H \to ZZ \to 4\ell$, $H \to WW \to 2\ell 2\nu$ and $H \to \gamma\gamma$). Parity and spin tests conducted so far yield results fully consistent with the hypothesis that the quantum numbers of the new particle are indeed the ones predicted for the SM Higgs boson. The message is further strengthened by looking at the new preliminary results on the signal strengths, expressed as a ratio σ/σ_{SM}, with respect to the SM expectations and on the couplings of the new particle. Both result are fully compatible with the SM predictions (fig. 8).

Conclusion - By analysing the 2011 and 2012 LHC data, CMS has discovered a new boson of mass 125.7 ± 0.4 GeV/c^2. All preliminary results on the properties of the new particle are consistent, within uncertainties, with expectations for a (the) Higgs boson. This discovery constitutes a major breakthrough in our current understanding of matter and the universe.

[14] The CMS Collaboration, Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, arXiv:1207.7235v1, *Phys. Lett. B,* 716 (2012) 30.

L. Cifarelli: Ringrazio di cuore i nostri illustri premiati e tutti voi presenti. Dichiaro quindi ufficialmente aperti i lavori del 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica.

ASSEMBLEA DI RATIFICA DELLE ELEZIONI DELLE CARICHE SOCIALI DELLA SIF PER IL TRIENNIO 2014-2016

Il giorno venerdì 27 settembre 2013 alle ore 19:00 si sono riuniti presso l'Aula Magna della SISSA (Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati) in Trieste i soci della Società Italiana di Fisica per la ratifica e proclamazione degli eletti alle cariche di Presidente e di Membro del Consiglio di Presidenza della SIF.

Presiede, in qualità di Presidente della Commissione Elettorale, il Dottor Giancarlo Righini.

Vengono riportati i risultati delle votazioni effettuate nei giorni 25, 26 e 27 settembre 2013:

VOTANTI	605
Voti nulli	1
Totale voti validi:	604

Voti per la Presidenza

Luisa CIFARELLI	589
schede bianche	6
schede nulle	7
schede mancanti nella busta	2

Consiglio di Presidenza

Simonetta CROCI	321
Alessandro BETTINI	300
Salvatore DE PASQUALE	288
Giuseppe GROSSO	228
Eugenio COCCIA	164
Massimo INGUSCIO	132
Sara PIRRONE	130
Piero GALEOTTI	87
Alessandro SPALLICCI	23
schede bianche	4
schede nulle	0
schede mancanti nella busta	0

La maggioranza assoluta dei voti (303) è stata ottenuta dalla Professoressa Luisa Cifarelli per la carica di Presidente e dalla Dottoressa Simonetta Croci per la carica di Membro del Consiglio.

Il Presidente pro-tempre chiede quindi all'Assemblea di ratificare l'elezione dei candidati che non hanno ottenuto la maggioranza assoluta, procedendo in ordine di preferenze. L'Assemblea ratifica all'unanimità. Risultano perciò eletti nel Consiglio di Presidenza SIF 2014-2016 i soci: Simonetta Croci, Alessandro Bettini, Salvatore de Pasquale, Giuseppe Grosso, Eugenio Coccia, Massimo Inguscio, Sara Pirrone.

La seduta è tolta alle ore 19:30.

Il Presidente della Commissione Elettorale
Giancarlo Righini

L'ARTE AIUTA LA SCIENZA E LA SCIENZA ISPIRA L'ARTE

CARLO BRADASCHIA
European Gravitational Observatory, EGO, Cascina, Pisa, Italia
e INFN, Sezione di Pisa, Pisa, Italia

"Arte e Scienza" è il titolo di un progetto che l'European Gravitational Observatory, EGO, ha organizzato assieme alla Fondazione CariPisa a partire dall'autunno 2011. Il programma prevedeva un ciclo di eventi per il grande pubblico, ispirati dal legame fra arte e scienza, due attività dell'uomo fondate entrambe su intuizione e creatività.
Ci fa piacere scriverne poiché quest'idea, non particolarmente originale, ha avuto un bel successo e gli spettacoli realizzati possono essere replicati in altre sedi.
Lo scopo era di coinvolgere il più vasto pubblico, dallo studente delle scuole superiori agli insegnanti, alla persona curiosa di conoscere meglio i temi ed il mondo della ricerca.
L'osservatorio EGO, di Cascina, vicino a Pisa, è stato creato da INFN e CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) per ospitare il grande interferometro Virgo, costruito dagli stessi enti per la ricerca delle onde gravitazionali. Questa missione scientifica ha indirizzato la scelta dei primi due eventi: il primo ispirato al Big Bang, creatore del fondo cosmologico di onde gravitazionali, ed il secondo, un concerto d'archi, legato alle onde gravitazionali dal fatto che quelle rivelabili da Virgo hanno frequenze che coprono esattamente tutto la spettro dei suoni udibili: il segnale di Virgo può essere ascoltato inviandolo, amplificato, ad un altoparlante.
Erano previsti quattro appuntamenti a cadenza bimestrale. Nella realtà gli eventi si sono susseguiti ad intervalli più lunghi, nell'arco di un anno, concludendosi con la Notte Europea dei Ricercatori del 29 settembre del 2012.

Big Bang

Questo è il titolo del monologo di Lucilla Giagnoni che ha aperto la serie in occasione della Notte Europea dei Ricercatori, il 24 settembre del 2011, al Palazzo dei Congressi di Pisa.

Ad Amedeo Staiano, direttore della Sezione INFN di Torino, va la nostra gratitudine per averci segnalato l'opera di Lucilla Giagnoni, autrice e attrice di grande talento (`http://www.lucillagiagnoni.it/LUCILLAGIAGNONI/Home.html`).

"Big Bang" tocca Bibbia, Poesia e Scienza, in un viaggio a ritroso nel Tempo, per sondarne l'Inizio: il Big Bang, appunto. Il filo conduttore si dipana toccando tutti gli aspetti più importanti e sorprendenti della fisica moderna, alternandoli con i frammenti più emozionanti delle opere di Shakespeare. La capacità di toccare in assoluta correttezza anche i tanti punti irrisolti della scienza di oggi rende, a nostro parere, quest'opera assolutamente valida anche a scopo divulgativo.

Lo spirito del monologo è in alcune righe della sua stessa autrice:

"Lo studioso del cosmo, ne cerca le componenti fondamentali e le cause dell'inizio; scruta ogni segnale di passati lontanissimi fino ad arrivare a pochi attimi dal Big Bang per capire la direzione delle galassie e degli universi.

Lo studioso dei testi sacri cerca di trovare la chiave di un'interpretazione definitiva e perfetta del Libro degli Inizi.

L'attore vive letteralmente nelle nuove rappresentazioni del mondo che arrivano dalla scienza e dall'ermeneutica.

Un punto d'incontro ci può essere. Un punto di conciliazione".

Il video è accessibile alla pagina: `http://outreach.ego-gw.it/index.php?lang=it`, selezionando "*Video On Demand*".

Gli oltre 400 spettatori hanno attivamente partecipato al dibattito che è seguito fino ad oltre mezzanotte, moderato da Barbara Gallavotti, la giornalista di Superquark, con la partecipazione dei cosmologi A. Ferrara (Scuola Normale) e padre G. Gionti (Specola Vaticana), i fisici G. Batignani (INFN) e F. Ferrini (EGO), l'astronomo F. Palla (Ossevatorio di Arcetri) e il filosofo A. M. Iacono (Università di Pisa).

La Musica e l'Universo

È il titolo del secondo evento, di lunedi 19 dicembre 2011, che è iniziato con un concerto, eseguito dal Quartetto d'archi Elisa, ed è proseguito con un dibattito fra studiosi e pubblico, moderato dalla giornalista Angela Feo. La discussione, animata, si è dipanata partendo dall'armonia musicale e dalla dicotomia consonanza-dissonanza, introdotta dall'esecuzione del famoso quartetto K465 di Mozart, fino a raggiungere i temi di Virgo e della ricerca delle onde gravitazionali, così intrinsecamente legate all'armonia dell'Universo ed all'armonia della musica, grazie alle loro frequenze acustiche.

L'evento è stato preceduto, nel pomeriggio, dal seminario "Dal flauto dell'homo Sapiens alle moderne neuroscienze", tenuto nell'Aula Magna della facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, dal professor Andrea Frova, dell'Università di Roma "La Sapienza". La tesi sostenuta, proposta originariamente dall'iniziatore della psicoacustica, Hermann von Helmholtz, è che la fisiologia dell'orecchio e del cervello

dell'uomo abbiano contribuito a determinare ciò che per noi è musica, dalla preistoria fino ad oggi.

Per gli ultimi due eventi rimandiamo i lettori agli inserti scritti dai rispettivi registi/sceneggiatori/attori, limitandoci a brevi note.

Il terzo evento, Venerdi 15 giugno 2012, ha visto la rappresentazione del dramma "Copenaghen" di Michael Frayn, prodotto dalla compagnia I Teatri della Resistenza di Pisa, nell'Abbazia di San Zeno, messa a disposizione dal comune. Il soggetto è stato adattato e interpretato da Dario Focardi, Cristina Gardumi e Paolo Giommarelli. Il video è accessibile alla pagina: `http://outreach.ego-gw.it/index.php?option=com_webplayer&view=default&Itemid=89&lang=en`.

Quarto ed ultimo evento, sabato 29 settembre 2012, nell'ambito della Notte Europea dei Ricercatori 2012: la commedia-noir "I Fisici". Scritta da Friedrich Dürrenmatt in risposta alla "Vita di Galileo" di Brecht, è stata rappresentata alla Città del Teatro di Cascina, messa a disposizione dal comune, da una singolare compagnia teatrale di professionisti e dilettanti: gli scienziati matti erano interpretati egregiamente da veri professori di fisica della Sapienza di Roma. EGO stesso ha fornito alla compagnia due tecnici nell'insolito ruolo di attori.

Negli ultimi due eventi, pur non essendo previsti discorsi introduttivi o discussioni finali, bisogna sottolineare che si è avuto il contatto informale, ma auspicato, fra il pubblico e noi scienziati organizzatori. È stata di grande aiuto la presenza di numerosi colleghi, attirati dai titoli in programma. Spunti e stimoli sono stati generati da poster e vario materiale informativo e, per "I Fisici", dall'apertura del bar nel ridotto del teatro.

Complessivamente l'organizzazione del Progetto "Arte e Scienza" non ha presentato difficoltà o ostacoli particolari, pur proiettando un ente di ricerca nell'inconsueto campo del teatro. Ha giocato a favore l'esperienza nell'organizzazione di congressi e convegni con centinaia di partecipanti, pluriennale per EGO e pluridecennale per la Sezione di Pisa dell'INFN.

Oltre all'INFN hanno contribuito in modo essenziale i comuni di Cascina e Pisa, il Dipartimento di Fisica e la Facoltà di Scienze dell'Università di Pisa.

Carlo Bradaschia

Carlo Bradaschia, Associato Senior della Sezione INFN di Pisa (Dirigente di Ricerca in pensione). Ha partecipato come "costruttore" a numerosi esperimenti a DESY e al CERN (ISR, SPS, LEP). Dal 1990 si dedica alla ricerca delle onde gravitazionali coll'interferometro Virgo (Cascina, Pisa), a cui ha contribuito fin dal progetto. Per Virgo è stato responsabile della costruzione e della messa in opera del complesso sistema da vuoto. Tuttora in attività a pieno tempo, oltre al lavoro di ricerca coordina per EGO e Virgo la divulgazione e le relazioni con il pubblico e la stampa.

BOX 1

Copenaghen, 1941

Dario Focardi – I Teatri della Resistenza, Pisa

Nel gennaio 2012 io ed i miei colleghi dei Teatri della Resistenza abbiamo avuto un incontro con Federico Ferrini e Carlo Bradaschia del progetto EGO-Virgo. Ci interrogavamo su come fosse possibile divulgare la Fisica attraverso un linguaggio che non fosse quello tradizionale delle lezioni universitarie, dei convegni, delle *lectiones magistrales*.

La nostra compagnia, I Teatri della Resistenza, aveva appena iniziato un percorso di studio proprio sul linguaggio più idoneo per raccontare la scienza attraverso la parola teatrale. Studio che aveva visto il suo sbocco in "Gal Y Leo", un *divertissement* che metteva in scena insieme, in uno spazio/tempo molto immaginario, Galileo Galilei e Leonardo Fibonacci, a confronto sui grandi temi della scienza.

L'incontro con gli scienziati di EGO-Virgo sembra essere stato scelto dal destino.

Volevamo lavorare a partire da un testo conosciuto, scritto da un autore conosciuto così da arrivare "immediatamente" ad un pubblico più ampio possibile e, soprattutto, trasversale.

Pensammo subito a "Copenaghen" di M. Frayn.

Esso racconta il drammatico rapporto tra i due fisici Heisenberg (Dario Focardi) e Bohr (Paolo Giommarelli), dandoci così l'occasione per riflettere sulla funzione dello scienziato nella società civile e sul peso delle scelte che esso può compiere di fronte alla guerra e alle paure più intime che si nascondono dietro la costruzione della bomba atomica.

Si affronta, in esso, un importante interrogativo che ancora oggi divide gli storici della scienza: l'etica della ricerca ed i conflittuali rapporti che essa ha con il potere e con l'economia industriale.

Copenaghen è, come tutta la Danimarca, sotto l'occupazione nazista. Werner Heisenberg, che è il padre del principio di indeterminazione della fisica quantistica, affronta un lungo e pericoloso viaggio per far visita, dopo molti anni, all'antico maestro Niels Bohr.

Il fisico tedesco partecipa al progetto nucleare del proprio paese. Per questo appoggio al regime nazista, Bohr (per metà famiglia di fede ebraica) aveva deciso di chiudere l'amicizia con il suo miglior allievo di sempre. Lui stesso, però, compì in seguito una scelta controversa, ovvero quella di aderire al progetto Manhattan, così da aiutare gli Alleati a sviluppare il programma di armamento nucleare.

Ma è possibile seppellire dentro ad un cassetto rapporti così densi di genialità, scoperte, passioni, rivoluzioni, strumentalizzazioni, risvolti storici, sociali e politici?

Unica testimone di questo incontro è Margrethe Bohr (Cristina Gardumi), compagna di Niels; nella sua domanda, all'inizio del primo atto, c'è il nodo centrale del dramma: "Perché Heisenberg è venuto a Copenaghen?"

Voleva coinvolgere Bohr nelle ricerche sulla costruzione della bomba atomica nazista?

Cercava consigli su come sottrarsi ad una tale responsabilità?

Cercava informazioni sull'esistenza e sullo stato di un qualche progetto nucleare alleato?

Voleva mettere al corrente Bohr del suo misterioso e vociferato tentativo di sabotare il programma nazista?

A teatro non si parla di Scienza, succede raramente. E trovo che sia strano che le due arti non si incontrino più spesso nel racconto di sé stesse. Arti? Se per il teatro è normale pensare che sia un'arte, per la scienza questo è molto più inusuale. Noi, però, stiamo parlando di fisica e che cosa sono i fisici se non creatori di follie? Essi sono o non sono sperimentatori dell'imponderabile? Se la risposta è affermativa, per me, essi sono come gli artisti.

Entrambi, fisici ed artisti, lavorano partendo da un'idea, da un'intuizione.

Werner Heisenberg e Niels Bohr (Archivio di Fermilab, U.S. Department of Energy).

Come dice Heisenberg in Copenaghen, lo stesso Bohr ha concepito la sua più grande scoperta mentre passeggiava nel campus di Princeton: "Gli era venuta in mente, quando era a Princeton nel 1939, passeggiando per l'università con Wheeler". Un momento caratteristico di Bohr. Cinque minuti di profondo silenzio mentre passeggiano e poi: "Adesso senti qua, ho capito tutto." Si lanciano su di essa, sull'intuizione, come affamati, cercando di dimostrarne la veridicità con ogni mezzo scientifico a loro disposizione.

L'artista usa lo stesso meccanismo. Intuisce una strada da percorrere nel suo incedere creativo e su di essa si butta anima e corpo per trasformarla in realtà. D'altronde i latini, non a caso, attribuivano al termine scientia il significato più vasto di conoscenza. Come se la scienza comprendesse entro sé ogni aspetto che riguarda il bisogno naturale dell'uomo di andare oltre e di imparare e sperimentare continuamente.

Ad oggi Copenaghen ha avuto un notevole successo di pubblico e di repliche. Questo perchè il bisogno del pubblico di avvicinarsi a certe tematiche è molto alto.

Noi, in collaborazione con EGO-Virgo, continueremo nel nostro progetto di poetica legato alla Scienza con un nuovo lavoro "*Hic sunt leones*"[1], ispirato alla vicenda di Bruno Pontecorvo.

In un momento come questo è sempre più viva la necessità di incrociare le vite di grandi personaggi che hanno segnato la storia del nostro paese.

Essi ci raccontano che la speranza del nuovo esiste, ci inducono a pensare che un cambiamento di ciò che credevamo è sempre possibile. Basta spingere le proprie idee aldilà dei limiti della conoscenza. Se da questi limiti ci facciamo fermare non potremo mai aspirare ad un mondo migliore. La sfida che ci aspetta oggi è questa. Sta alla società nel suo complesso farsi accompagnare dall'estro e dalle genialità fuori dal comune. Da artisti siamo pronti a farcene carico e crediamo che anche la Scienza farà altrettanto.

[1] *Hic sunt Leones* è stato rappresentato per la prima volta, con successo, il 28 settembre 2013, alla Città del Teatro di Cascina.

BOX 2

I Fisici

Marcello Cava – Sapienza in Scena e Alyax, Roma

"Sapienza in Scena" è un gruppo di lavoro composto da professori, attori e studenti che lavorano da anni sui temi del teatro didattico, con particolare attenzione alla divulgazione della scienza. Il gruppo ha realizzato, in particolare, uno studio su "Vita di Galileo" di Bertolt Brecht (presentato a Roma in varie occasioni presso il chiostro di S. Pietro in Vincoli della Facoltà di Ingegneria e, l'anno scorso, nel cortile del Collegio Romano).

A questo è stato affiancato uno studio scenico della celebre commedia-noir scritta come risposta alla "Vita di Galileo", sui grandi temi della ricerca scientifica e della responsabilità dello scienziato, negli anni della Guerra Fredda, in cui aleggiava ancora lo spettro nucleare di Hiroshima. "I Fisici" di Friedrich Dürrenmatt (Konolfingen, 5 gennaio 1921 - Neuchâtel, 14 dicembre 1990) è scritta in una forma particolare e spregiudicata: commedia, giallo-noir, poliziesco, thriller metafisico…

"Un dramma che tratti di fisici deve essere paradossale" diceva Dürrenmatt, aggiungendo: "il contenuto della fisica riguarda solo i fisici ma i suoi effetti riguardano tutti".

"I Fisici", proposto a Cascina (Pisa) a cinquant'anni dalla Prima assoluta (21 febbraio 1962 - Schauspielhaus di Zurigo) è l'esito di un lavoro in forma di laboratorio presentato con successo presso sedi universitarie e non solo, negli anni passati (a Roma presso la Facoltà di Ingegneria, a Villa Mondragone, al Dipartimento di Fisica, al Museo di Storia della Medicina, a Palazzo Barberini e, a Cosenza, presso il Teatro Rendano).

"I Fisici" è stato pensato, nella nostra versione originale, come "teatro da camera" dove pochi *spettatori-voyeurs* entrano in uno spazio chiuso (biblioteca o sala anche di pregio architettonico) proprio mentre è in corso l'incipit della pièce con il cadavere della prima infermiera e la polizia che sta eseguendo i rilievi. La sala è quindi, più che palcoscenico, tautologicamente, la sala della clinica di lusso ove sono ricoverati e reclusi i tre scienziati pazzi.

La forte prossimità con il pubblico, la mancanza di finzioni sceniche (le luci vengono davvero dalla finestra, il suono vero del violino e del pianoforte della Sonata a Kreutzer giunge davvero dalla stanza accanto) ha permesso al lavoro, spesso realista (tre veri docenti universitari in vestaglia e pantofole "sono quasi" i tre scienziati pazzi della commedia), di essere percepito senza i limiti, in questo caso invalidanti, della dimensione platea-palcoscenico tradizionale. La stessa impostazione noir ne è riuscita enfatizzata dalla dimensione da set cinematografico e la proposta consente al pubblico una riflessione davvero intensa sul paradosso della ricerca scientifica nel tempo moderno, il rapporto conflittuale con il sistema-potere, la complessità della vita umana dello scienziato schiacciato tra la libertà e la purezza della ricerca e il compromesso con il sistema che pure consente la sua attività.

Lo snello adattamento di Pina Catanzariti ha sfrondato il testo originale esaltandone l'ossatura avvincente (originale e divertente con cui davvero in modo geniale Dürrenmatt rispose a Brecht) e ha tolto molta verbosità legata al tema, oggi archeologico, della Guerra Fredda, esaltando nel trattamento finale il tema della lobby economica ancora particolarmente attuale nel tempo della globalizzazione.

L'occasione pisana ci ha consentito, nel gioco sperimentale continuo del fare teatro, la verifica del progetto in un'occasione senza dubbio pertinente quale la Notte della Ricerca… ma in un contesto non previsto: il palcoscenico tradizionale.

Tre veri professori di fisica nei panni dei tre fisici matti di Dürrenmatt (Foto di Paolo Tomassini).

L'archivio storico de Il Nuovo Cimento è disponibile per i Soci all'url: http://members.sif.it

IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

150 ANNI FA

La fisica dell'atmosfera è complessa. Palmieri contribuisce allo studio dell'elettricità atmosferica negli anni 1860. Può essere interessante confrontare con la lezione di Feynman di un secolo dopo. The Feynman Lectures on Physics, Vol 2, lecture 9.

Da "Sulla pretesa elettricità negativa del ciel sereno" Nota di L. Palmieri, Nuovo Cimento, 18 (1863) 255.

La legge semplicissima con la quale l'elettricità atmosferica si manifesta in tempo di pioggia che, sono già parecchi anni, io scoprii sull'Osservatorio Vesuviano mercè l'apparecchio a conduttore mobile, bastava di per sé sola a fare intendere in quali congiunture si deve avere nell'aria elettricità negativa. E veramente, poiché per la legge indicata, ove cade la pioggia si deve elettricità positiva con una zona o onda intorno intorno di elettricità negativa la quale può estendersi a 30 miglia di distanza […] ne segue che l'osservatore collocato in questa zona può trovarsi a cielo sereno ed avere elettricità negativa. Quando io mi trovai col mio apparecchio sull'Osservatorio Vesuviano all'altezza di 637^{m} sul livello del mare da potere scoprire un vastissimo orizzonte mi assicurai che la elettricità negativa è segno di pioggia o grandine che cade ad una certa distanza dal luogo delle osservazioni […] Ora essendosi eretta sull'edifizio della nostra Università una specola metereologica la quale […] non può avere l'orizzonte dell'Osservatorio Vesuviano, era facile aspettarsi in questa de' casi di elettricità negativa a cielo sereno senza nubi o pioggia visibile sull'orizzonte. Il giorno 27 luglio dunque verso mezzogiorno cominciammo ad osservare forte elettricità negativa a cielo sereno […]
Non sembrava ci fosse pioggia entro 30 miglia, ma
[…] due giorni dopo seppi che in quel tempo in Avellino pioveva in abbondanza ed in qualche luogo in quelle vicinanze cadeva anco grandine.

100 ANNI FA

Da "La deviazione dei gravi in caduta" di G. Gianfranceschi, Nuovo Cimento, 6 (1913) 255.

Le deviazioni dei gravi in caduta verso Est e verso Sud costituivano ancora un secolo fa un problema aperto. Gianfranceschi inizia l'articolo con cenni storici partendo da dal Περί ουρανού (De Caelo) di Aristotile e proseguendo con Galilei e con il tentativo non riuscito di Hook del 1680. Descrive criticamente le esperienze di Guglielmini a Bologna sia nel suo laboratorio sia dalla torre degli Asinelli, usufruendo di 29 m di altezza nel 1791, di Benzemberg tra il 1802 e il 1804, prima in superficie da una torre e poi nel pozzo di una miniera su 85 m di caduta, di Reich in Sassonia in un pozzo di miniera di 158,5 m nel 1831, di Hall a Boston nel 1902, sino a quelle di Hagen del 1912 alla Specola Vaticana. Gianfranceschi conclude la rassegna dicendo:

Tutte queste esperienze dal Guglielmini al Hagen costituiscono senza dubbio una prova qualitativa del fenomeno; quelle dei due ultimi sperimentatori hanno anche valore quantitativo, come vedremo. Per quanto riguarda l'esistenza della deviazione meridionale, non ci dimostrano niente, perche i risultati sono dell'ordine di grandezza dell'errore probabile.

Il valore aspettato di questa è inferiore alla decina di micrometri.
Gianfranceschi passa quindi alle teorie sino a Gauss e Laplace, discutendo le approssimazioni assunte nella soluzione delle equazioni differenziali. Continua dicendo come avesse eseguito le sue misure

[…] nell'Istituto Massimo di Roma [il liceo dove insegnava] dove, aderente al muro maestro della facciata secondaria rinvenni un canale verticale tutto chiuso tra due muri, e che va dal sottosuolo al pavimento del mezzanino soprastante al secondo piano, con un'altezza di circa 32 metri.

Utilizzò un peso di circa 50 g appeso ad un filo che passava sopra ad una puleggia per congiungersi a un contrappeso di circa 30 g. Segue una magistrale descrizione delle procedure sperimentali adottate per mantenere l'accelerazione il più costante possibile, nonostante la variazione di lunghezza dei fili, evitare correnti d'aria, misurare a meglio di un decimo di millimetro il piede della verticale e il punto d'impatto, ecc. La media delle misure dà

Deviazione orientale: 1.846±0.014 mm; deviazione meridionale: 0.033 ± 0.010 mm

Da confrontarsi con i valori teorici calcolati in

Deviazione orientale: 2.081 mm; deviazione meridionale: 0 mm

Segue una discussione delle possibili incertezze teoriche, concludendo

Il problema della deviazione dei gravi in caduta non può certo dirsi ancora risolto. Il presente studio non apporta che un contributo sperimentale. Le esperieze hanno qui raggiunto una precisione che non si era otenuta finora.

50 ANNI FA

Poco sotto la sommità del Chacaltaya nelle Ande in Bolivia, fu installato a 5240 m di altitudine negli anni 1940 l'osservatorio ad alta quota di raggi cosmici nel quale César Lattes, Hugh Muirhead, "Beppo" Occhialini e Cecil Frank Powell scoprirono il pione nel 1947 con la tecnica, sviluppata da Occhialini e Powell, delle emulsioni nucleari. L'Osservatorio contribuì nuovamente alla ricerca sui raggi cosmici dopo che Hideki Yukawa scrisse a Lattes proponendogli una collaborazione Nippo-Brasiliana per lo studio della produzione multipla di mesoni in quell'osservatorio.
Oggi Chacaltaya ospita anche il più alto osservatorio atmosferico del mondo.

Da "Observation on Extremely-High Nuclear Events with Emulsion Chambers Exposed on Mt. Chacaltaya" di C. M. G. Lattes, C. Q. Orsini, I. G. Pacca, M. T. da Cruz, E. Okuno, Y. Fujimoto, and K. Yokoi, Il Nuovo Cimento, 3 (1963) 2160.

Summary. […] The aim of these experiments is to observe the features of nuclear interactions caused by extremely high-energy nucleons ($E_0 \geq 10^{15}$ eV). The result obtained by the first small test chamber (0.053 m^2/yr exposure) is presented: (i) there is no difficulty of fading and chemical background[…]; (ii) cosmic ray background is sufficiently low, allowing γ-ray showers of energy greater than 10^{12} eV to be detected with 100% efficiency; (iii) 11 γ-rays of energy equal to or greater than 1.5×10^{12} eV are observed […].

Introduction […]. This project will consist of exposing emulsion chambers with area of several square meters, aiming at detecting nuclear interactions of energy 10^{15} eV or more.

1. Experimental procedure. An emulsion chamber of thickness 12 c.u. covering 0.4 m^2 was constructed at Mt. Chacaltaya […] and exposed for 48 days.

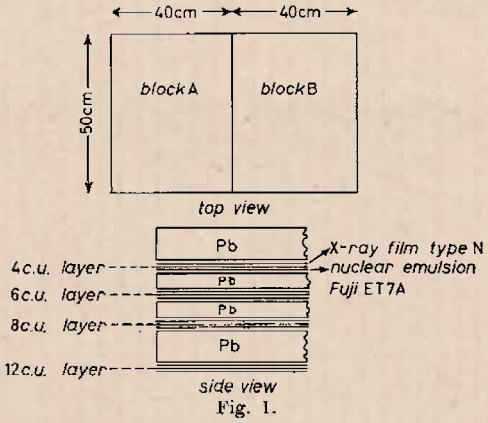


Fig. 1.

a cura di
Alessandro Bettini

THE ITALIAN PHYSICAL SOCIETY "ENRICO FERMI" PRIZE AND MEDAL 2013

The "Enrico Fermi" Prize of the Italian Physical Society has been awarded starting from 2001, to commemorate the great scientist on the occasion of the centenary of his birth. The Prize and Medal are yearly awarded to Members of the Society who particularly honoured physics with their discoveries. A Selection Commission commission made of experts appointed by SIF (Società Italiana di Fisica), CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche), INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica), INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare), INGV (Istituto Nazionale di Geofisica) and Centro Fermi (Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche "Enrico Fermi") selects the winner(s) from a list of candidates proposed by the community. The proposal is submitted to the Council of the SIF for final approval.

The "Enrico Fermi" Prize and Medal have been awarded for 2013 for elementary particle physics to Pierluigi Campana, Simone Giani, Fabiola Gianotti, Paolo Giubellino and Guido Tonelli, "for the outstanding results that the five large international collaboration experiments at the CERN LHC collider – LHCb, TOTEM, ATLAS, ALICE, CMS – have achieved during the first period of LHC data taking under the successful guidance of the awardees as spokespersons".

In particular, to:

- Pierluigi Campana, for the first observation, with the LHCb experiment, of *CP* symmetry violation in B_s meson decays, and for a large number of high-precision measurements in "heavy flavour" physics;
- Simone Giani, for the first direct confirmation, with the TOTEM experiment, at unprecedented collider energies, that the total proton-proton cross-section increases with energy, and for further precise in-depth studies on the proton structure;
- Fabiola Gianotti, for the discovery, with the ATLAS experiment, of a new fundamental particle with mass around 125 GeV and properties consistent with a Higgs boson, theoretically predicted almost 50 years ago, the existence of which ensures a huge insight in the understanding of the Standard Model of particle physics;
- Paolo Giubellino, for the unveiling, with the ALICE experiment, of the new features of the hottest and densest state of matter ever produced in very high energy nucleus-nucleus collisions, in particular those of the short-lived, rapidly evolving and strongly interacting deconfined medium generated in such extreme conditions;
- Guido Tonelli, for the discovery, with the CMS experiment, of a new fundamental particle with mass around 125 GeV and properties consistent with a Higgs boson, theoretically predicted almost 50 years ago, the existence of which ensures a huge insight in the understanding of the Standard Model of particle physics.

The 2013 award is certainly different from the past ones. It is a consequence of the extraordinary success and discoveries of the CERN Large Hadron Collider (LHC) and of its experiments on the one hand, of the outstanding contributions provided by the Italian physicists to these experiments on the other. In the first two years of operation LHC has produced a vast amount of interactions in an unprecedented energy region. The experiments, with their different characteristics, have published new results, advancing the frontiers of our knowledge not only with the discovery of the Higgs boson – which has motivated the 2013 Nobel Prize for physics to the underlying theory as recalled in other pages of this issue – but also to the understanding of the quark-gluon plasma, of the *CP* violation phenomena and the measurement of cross section at the highest energies.

In these extraordinary two years, the five awarded scientists have been the spokespersons chosen by the five experimental collaborations to lead the effort in the critical initial phases of the data collection and analysis. This fact is certainly a worldwide recognition of the value of the Italian school of physics. It goes beyond the specific names extending to all the physicists and technicians of the Italian groups that contributed to the design and construction of the detectors and to the physics analysis. It goes beyond, to the INFN infrastructures, organisation and investment that made the effort so successful.

The LHC is the world's largest complex for particle physics. It provides to the experiments collisions between countercirculating beams of protons or of nuclei, depending on the operation mode, at unprecedented energies and luminosities. It has been built by the European Organisation for Nuclear Research (CERN) from 1998 to 2008, with the aim of allowing physicists to test the predictions of the "Standard Model", the theory of the basic constituents of matter and of the fundamental forces, and to search for novel phenomena not predicted by the present theory. The LHC consists of a 27 km long ring of superconducting magnets – in a large fraction built by the Italian industry under the supervision of the INFN and CERN – with a number of accelerating structures to boost the energy of the particles along the way.

The five LHC experiments involve some of the largest and most complex experimental apparata ever devised. Novel detector technologies had to be developed during more than a decade to cope with the extremely hard experimental conditions of the experiments.

P. Campana

S. Giani

F. Gianotti

P. Giubellino

G. Tonelli

The experiments were designed and build by large collaborations of physicists and engineers from all over the globe and supported by the research agencies and governments of their Countries. Their construction required the dedicated work of thousands of people for twenty years.

Two of the LHC experiments, ATLAS and CMS, are conceived as general purpose ones, the other three, ALICE, LHCb and TOTEM, are focused on more specific physics programmes.

The above-mentioned Standard Model of particle physics describes in a unique mathematical structure all the basic forces of Nature, with the exclusion of gravity. It has been tested with very high accuracy in experiments at accelerators and colliders of the previous generations and all its elements, leptons, quarks and the mediators of the forces, have been discovered and studied. All but the most important, the "Higgs" boson. It is the one that gives mass to the mediators, the quarks and the leptons. ATLAS and CMS were then designed to search for the Higgs in all the energy interval in which it could reasonably be. However, their research programme is much richer. Entering in a new energy domain may open the way to new phenomena, such as the possible existence of extra dimensions of space, of new types of particles as possible components of dark matter, like the "supersymmetric" ones, or microscopic black holes or some unexpected surprises.

ATLAS is about 45 m long, more than 25 m high, and weighs about 7000 t. It is about half as big as the Notre Dame Cathedral in Paris and weighs the same as the Eiffel Tower. The collaboration involves roughly 3000 scientists at 177 institutions in 36 countries.

The CMS detector is built around a huge solenoid magnet. This takes the form of a cylindrical coil of superconducting cable that generates a field of 4 T, about 100000 times the magnetic field of the Earth. The field is confined by a steel yoke that forms the bulk of the detector's 12500 t weight. The CMS experiment collaboration involves 3500 physicists, engineers, technicians and students from 182 institutes in 42 countries.

CMS and ATLAS have already discovered a new boson and started to determine its properties. All the observed ones coincide with the predictions of the Standard Model, but still much more work will be needed in the future.

The LHCb experiment, a collaboration of approximately 620 scientists and engineers from 63 scientific institutes in 17 countries, is specialized the physics of the "beauty" particles. Indeed, three pairs of quarks exist of increasing masses. To them physicists gave names out of their fantasy: up (u) and down (d), charm (c) and strange (s), top (t) and beauty (b). It measures, in particular, the tiny differences between the behaviour of particles and antiparticles, the violation of the *CP* symmetry, which connects the particles to their "anti" through the mirror. The experiment has already discovered *CP* violation in the "strange and beauty" meson, the one composed of a b-quark and a s-antiquark.

The ALICE experiment, a collaboration of approximately 1200 scientists and engineers from 32 scientific institutes in 17 countries has built a dedicated heavy-ion detector to exploit the unique physics potential of nucleus-nucleus interactions at LHC energies. Its aim is to study the physics of strongly interacting matter at extreme energy densities, where the formation of a new phase of matter, the so-called "quark-gluon plasma", is expected. The existence of such a phase and its properties are key issues in the theory of the strong interactions that bound quarks in the proton and neutron and these latter in the nuclei. In the new phase quarks and gluons are no longer confined in the nucleons, the nucleus becoming a drop of such an extremely hot "plasma". Very important features of such a new state of matter have been already unveiled.

Unlike the other LHC experiments TOTEM is composed of relatively small sub-detectors located very close to the beam pipe at different distances from one crossing point. Its programme is dedicated to the precise measurement of the proton-proton cross section, as well as to the in-depth study of the proton structure, which is not well understood. Novel results in an unexplored energy region have been already obtained.

A. Bettini
Università di Padova, INFN, Sezione di Padova
Laboratorio Subterráneo de Canfranc, Spain

SIF-IOP "GIUSEPPE OCCHIALINI" PRIZE AND MEDAL 2013

The "Giuseppe Occhialini" Prize has been promoted jointly by the Italian Physical Society (SIF) and the British Institute of Physics (IOP) in 2007 on the occasion of the Centenary of the birth of Giuseppe (Beppo) Occhialini, with the aim to commemorate the eminent scientist, who worked in England and Italy, as well as to strengthen the relationship between the two societies. The award is made alternately by the Councils of one of the two societies to a physicist selected from a list of nominees submitted by the other. The award is made for distinguished work carried out within the 10 years preceding the award. The award is to be made to physicists in alternating years who work in Italy (even dated years) or the UK or Ireland (odd dated years).

Silvia Pascoli.

This year winner is Silvia Pascoli of Durham University, with the following citation: *for her major contributions to the study of, and leadership in, the field of neutrino phenomenology*.

Neutrino physics is one of the most exciting areas of contemporary particle physics. The phenomena of neutrino oscillations and neutrino flavour change in matter are clear evidence for physics beyond the Standard Model, since oscillations require that the neutrinos have mass and that neutrinos do transform from a type to another. Indeed the Brout, Englert, Higgs (BEH) mechanism, which gives mass to quarks and charged leptons leaves neutrino massless. Moreover, experiments have shown that neutrino masses are extremely small, much smaller than those of the other elementary particles. From the theoretical point of view this facts give hints on very-high-energy physical phenomena, not in the reach of any conceivable accelerator. Notice that neutrinos of different types, those produced with an electron, a muon or a tau respectively, are mixtures of the states of definite masses. The same is true also for the quarks, but the mixing angles of neutrinos are much larger. We do not know why.

More specifically, the three-neutrino system is described by nine parameters, three mixing angles, three phase factors (of which only one relevant for neutrino oscillations), and three masses. We have measured the three mixing angles and two square mass differences, of which one, the larger, only in absolute value. Moreover, we do not know if neutrinos are Dirac or Majorana particles. In the former case neutrinos and antineutrinos are different particles, in the latter they are completely neutral, being particle and antiparticle at the same time. These parameters have been measured using a combination of complementary neutrino sources and detectors. Natural sources are the Sun for electron neutrinos (when generated) and the cosmic-rays interactions in the atmosphere for, when produced, electron and muon neutrinos. The corresponding experiments are lodged in low-background underground laboratories. Artificial sources are the nuclear power reactors for electron antineutrinos and the proton accelerators for muon neutrinos. In any case the experiments must be far from the sources, at distances ranging from kilometres (for reactors) to hundreds of kilometres for accelerators, to allow the oscillation to take place. The smallest mixing angle, θ_{13}, is known only since 2012, measured for the first time at nuclear reactors in China. It is not really very small, something that simplify the future neutrino programme.

Silvia Pascoli contributed to several sectors of neutrino phenomenology, working in contact with groups of experimentalists.

Two relevant parameters remain to be measured in neutrino oscillations and matter effects phenomena: the sign of the larger square-mass difference and the *CP*-violating phase factor. The former can be addressed with accelerator and non-accelerator neutrinos, the latter with neutrino beams from accelerators only. These must be as powerful as possible, but do not need to have high energy. On purpose, S. Pascoli put forward the idea, together with S. Geer and O. Mena, of a low energy "neutrino factory", elucidating the advantages of such an option.

The matter antimatter asymmetry, called baryon asymmetry, of the universe requires *CP* violation. The well-known one present in the quark (hadron) sector appears, however, to be too weak to explain the baryon asymmetry. The latter might be generated in the lepton sector, through violation both of the lepton number and of *CP*. Silvia Pascoli studied the theoretical aspects of leptogenesis, as it is called, and of the connection between low-energy and very-high-energy phenomena.

The search for the neutrino-less double-beta decay is the only available means to establish whether neutrinos are Dirac or Majorana particles. This is an extremely rare phenomenon and experiments are performed in underground laboratories, such as the INFN Gran Sasso, and require the development of sophisticated low-background techniques. Silvia Pascoli studied with S. Petcov the relevance, and the limits, of these measurement to the understanding of the neutrino mass spectrum.

Last but not least, S. Pascoli provided and provides strong leadership to research structures and institutions in the UK, being in particular Deputy Director of the IPPP that is presently the largest university-based group in particle physics phenomenology in the UK.

A. Bettini
Università di Padova
INFN, Sezione di Padova
Laboratorio Subterráneo de Canfranc, Spain

IL PREMIO NOBEL PER LA FISICA 2013

F. Englert e P. W. Higgs, 2013.

Robert Brout (New York ,14 giugno1928 – Bruxelles, 3 maggio 2011).

Il premio Nobel per la fisica 2013 è stato assegnato congiuntamente a François Englert e Peter W. Higgs "per la scoperta torica di un meccanismo che contribuisce alla nostra comprensione dell'origine della massa delle particelle subatomiche, e che è stato di recente confermato dalla scoperta della particella fondamentale da esso prevista, dagli esperimenti ATLAS e CMS al Large Hadron Collider del CERN" [1].

La teoria fu formulata quasi mezzo secolo fa, nel 1964, quando furono pubblicati indipendentemente un articolo di Robert Brout (che è scomparso nel 2011) e François Englert e due di Peter Higgs. Il meccanismo teorico "BEH" è elemento centrale del Modello Standard, l'ultimo ad essere verificato sperimentalmente.

L'intero modello è in realtà basato sull'esistenza di una particella speciale, diversa da tutte le altre, il bosone di Higgs, che è conseguenza di un campo non mediatore di forze che riempie tutto lo spazio. La teoria spiega come, attraverso questo contatto, tre dei bosoni vettoriali, i "campi di gauge", mediatori dell'interazione elettro-debole, W^+, W^- e Z^0 abbiano massa, mentre il quarto, il fotone, non ce l'ha. Lo stesso meccanismo, inoltre, spiega la massa dei quark e dei leptoni carichi. Si noti peraltro che in accordo col modello, ma contrariamente a quanto spesso affermato, la massa dei nucleoni, e quindi quella della materia normale, è per quasi il 99% energia del campo di colore piuttosto che massa dei quark che li costituiscono e, quindi, non è dovuta al meccanismo BEH.

Conviene scegliere l'unità di misura delle lunghezze in modo che la velocità della luce risulti $c = 1$ e quella dell'energia in modo che anche la costante di Planck valga $\hbar = 1$. Queste unità vengono dette "naturali".

La massa m di una particella (ma anche di un nucleo o di un atomo) si definisce per la particella libera. Essa è il modulo del quadri-vettore energia-momento (E, $\mathbf{p}$), e il suo quadrato ne è la norma:

$$m^2 = E^2 - \mathbf{p}^2. \quad (1)$$

La massa quindi è un invariante, non dipende dalla velocità. Se la massa è nulla, energia e momento sono uguali. La massa ha anche il significato di minima energia che la particella può avere. Ciò accade, se la massa non è nulla, quando la particella è ferma.

Ricordiamo anche le relazioni tra energia della particella e frequenza dell'onda associata ω e tra momento e vettore d'onda $\mathbf{k}$. In unità naturali sono semplicemente

$$E = \omega \qquad \mathbf{p} = \mathbf{k}\,. \quad (2)$$

La (1) corrisponde quindi alla relazione di dispersione della particella libera di massa m

$$\omega^2 = \mathbf{k}^2 + m^2\,. \quad (3)$$

Per una particella di massa nulla quindi frequenza e numero d'onda sono uguali, come per la luce nel vuoto.

$$\omega = k\,. \quad (4)$$

Un'analogia presa dalla fisica classica, anche se molto incompleta, può dare un'idea di come una particella senza massa possa acquistarla. Consideriamo un plasma e immaginiamolo come un mezzo continuo, globalmente neutro, costituito da ioni positivi ed elettroni liberi. Plasmi sono presenti, ad esempio, nei metalli e nella ionosfera. Consideriamo situazioni caratterizzate da frequenze abbastanza alte da poter considerare solo gli elettroni mobili, mentre gli ioni, a causa della loro inerzia, sono fermi. Sia n_0 il numero di elettroni per unità di volume, pari a quello di ioni, nello stato di equilibrio, quello di energia minima, il "vuoto" del sistema. Se ora un certo numero di elettroni è spostato dalla posizione di equilibrio, la loro densità prende ad oscillare con una ben definita frequenza, chiamata frequenza del plasma (per una semplice dimostrazione vedi [2]):

$$\omega_p^2 = \frac{n_0 q_e^2}{\epsilon_0 m_e}\,. \quad (5)$$

Nel plasma possono esistere onde elettromagnetiche, con due importanti differenze rispetto allo spazio vuoto o a un dielettrico. In primo luogo, oltre alle due polarizzazioni trasversali ne esiste anche una

longitudinale. Inoltre, le relazioni di dispersione sono, per le componenti trasversali

$$\omega^2 = \mathbf{k}^2 + \omega_p^2 \tag{6}$$

e per quella longitudinale

$$\omega^2 = 3\langle u^2\rangle\, \mathbf{k}^2 + \omega_p^2, \tag{7}$$

dove $\langle u^2\rangle$ è la media del quadrato della velocità degli elettroni (in unità $c = 1$) nel riferimento del baricentro del sistema [3].

La (6) ha la stessa forma della (3) e ci dice che il quanto del campo elettromagnetico nel plasma ha massa non nulla, pari alla frequenza di plasma. Il suo numero d'onda può essere piccolo, anche nullo, e la corrispondente lunghezza d'onda infinita. Ma la frequenza non può essere inferiore alla frequenza del plasma. Ad esempio onde radio di bassa frequenza non penetrano nelle fasce cariche della ionosfera, ma ne vengono riflesse. Il fotone nel plasma ha acquistato massa.

Jeffrey Goldstone dimostrò nel 1961 [4] che in qualsiasi teoria quantistica di campo manifestamente Lorentz invariante, nella quale la Lagrangiana sia invariante sotto una simmetria continua, o lo stato di vuoto è anche invariante sotto quella simmetria, o devono esistere particelle senza spin di massa nulla (i bosoni di Goldstone).

Philip Anderson in un articolo del 1962 [5], considerò un superconduttore, un sistema fisico più complesso di un plasma di elettroni. Egli mise in evidenza come in questo caso il modo di Goldstone divenga un "plasmone" con massa, a causa della sua interazione elettromagnetica. Questo modo è il partner longitudinale dei modi elettromagnetici polarizzati trasversalmente, che sono pure dotati di massa. Egli affermava che in una teoria invariante di Lorentz del vuoto il plasmone longitudinale "*would be indistinguishable from the third component of a massive vector boson of which the transverse photons are the two transverse components.*"

Uscendo dall'analogia classica e già pensando ad un sistema molto diverso da un superconduttore, Anderson concludeva con una congettura "*It is likely, then, considering the superconducting analog, that the way is now open for a degenerate vacuum theory of the Nambu type* [vedi in seguito] *without any difficulties involving either zero-mass Yang-Mills gauge bosons or zero-mass Goldstone bosons. These two types of bosons seem capable of 'canceling each other out' and leaving finite mass bosons only*". Ma Anderson non andò oltre.

Le simmetrie che stiamo considerando sono proprietà di invarianza della Lagrangiana che descrive il sistema sotto le trasformazioni di un certo gruppo (in senso matematico). Molte simmetrie non sono perfette, ma lo sono quasi. Si parla allora di rottura "esplicita" della simmetria. Può però anche accadere che la simmetria della Lagrangiana sia perfetta, ma che non lo sia lo stato del sistema. È il caso in cui esiste un insieme, simmetrico, di diversi stati di energia minima. Si pensi ad una lamina metallica simmetrica rispetto ai suoi due lati. Se la si carica, simmetricamente, con una forza "di punta" lungo l'asse, la lamina solo si accorcia per carichi abbastanza piccoli. Ma se si supera un valore critico, la lamina si flette, "scegliendo" di piegarsi verso destra o verso sinistra e rompendo così la simmetria. Si parla di "vuoto degenere" perché ci sono due stati di energia minima, simmetrici nel loro insieme, e di rottura spontanea. Ci avviciniamo al meccanismo BEH pensando al fondo di una bottiglia di vino, analoga al campo invisibile a cui si accennava. La sua forma è simmetrica rispetto a rotazioni attorno all'asse verticale. Ma, se si abbandona una pallina lungo l'asse, cioè da uno stato ancora simmetrico, questa si troverà alla fine in uno degli stati di energia minima, in un punto della gola circolare. Di nuovo, il vuoto è degenere e la simmetria è rotta spontaneamente.

Esempi importanti di rottura spontanea, sono il ferromagnetismo, descritto teoricamente da Heisenberg nel 1928, e la superconduttività, la cui teoria fu sviluppata da Ginzburg e Landau nel 1950 e da Bardeen, Cooper e Schrieffer nel 1958. Robert Brout ricordava come V. Weisskoff avesse affermato in un seminario a Cornell nel 1960 che i teorici di particelle fossero così disperati in quei tempi da essere costretti a prendere a prestito nuove idee dalla materia condensata, come BCS. "Forse qualcosa ne verrà" concludeva. E infatti, nel 1960 Yoichiro Nambu avanzò l'ipotesi ardita che la rottura spontanea di simmetria potesse aver luogo anche nelle teorie di campo delle particelle elementari. Sviluppò successivamente le idee in una serie di lavori da solo e con collaboratori [6].

Il vuoto a livello delle particelle elementari è una regione di spazio in cui non sono presenti né particelle né campi di forza. Sembrerebbe a prima vista che non ci fosse nulla. Invece il vuoto quantistico, quando osservato a scale dell'ordine di una frazione di femtometro, è un mezzo dinamico estremamente attivo nel quale continuamente coppie particella antiparticella si formano per fluttuazione quantistica e subito si annichilano nuovamente.

Ma nessun bosone di spin e massa nulli, come previsti da Goldstone, era mai stato osservato e negli anni immediatamente successivi diversi fisici teorici si misero a cercare se fosse possibile evaderne il teorema. E qui torniamo, in particolare, al contributo di Anderson del 1962 sopra citato. Anderson tuttavia non dimostrò un teorema né discusse alcun modello relativistico.

Il 24 luglio 1964, P. W. Higgs inviò un articolo a "Physics Letters" che lo accettò per la pubblicazione [7]. Considerava teorie relativistiche di gauge "locali", nelle quali cioè le trasformazioni sono funzioni delle coordinate, come vedremo. Egli dimostrò che i bosoni senza massa di Goldstone non compaiono in tali teorie spontaneamente rotte. Invece, il grado di libertà di Goldstone diventa la componente non osservabile della polarizzazione del campo vettoriale con massa. L'altro grado di libertà dell'originale doppietto scalare, diviene una particella scalare con massa, il bosone di Higgs. Il meccanismo di Anderson può quindi anche verificarsi in un sistema relativistico.

Ma la dimostrazione era limitata al caso in cui il campo di gauge è accoppiato ad una corrente conservata. Dopo pochi giorni, il 31 luglio, Higgs inviò alla stessa rivista un secondo articolo, nel quale completava la teoria, ma la rivista lo respinse. L'autore revisionò il lavoro e lo inviò a "Physical Review Letters (PRL)" [8], che lo ricevette il 31 agosto e pubblicò il 21 ottobre. L'articolo inizia con: "*The purpose of the present note is to report that, as a consequence of this coupling, the spin-one quanta of some of the gauge fields acquire mass; the longitudinal degrees of freedom of these particles (which would be absent if their mass were zero) go over into the Goldstone bosons when the coupling tends to zero. This phenomenon is just the relativistic analog of the plasmon phenomenon to which Anderson has drawn attention: that the scalar zero-mass excitations of a superconducting neutral Fermi gas become longitudinal plasmon modes of finite mass when the gas is charged*".

Nella rielaborazione, Higgs aveva aggiunto in conclusione: "*It is worth noting that an essential feature of the type of theory which has been described in this note is the prediction of incomplete multiplets of scalar and vector bosons*". Questa frase dava al lettore l'essenza della teoria e dava inizio alla sua "Life as a boson", come titolerà alcune sue lezioni.

Il referendario, che sappiamo essere stato Nambu, fece presente a Higgs l'articolo "*Broken symmetry and the mass of the gauge vector mesons*" che Englert e Brout avevano inviato il 22 giugno a PRL, e pubblicato giusto il 31 agosto [9]. A Edimburgo, dove lavorava Higgs, apparentemente, la posta arrivava in ritardo.

Brout e Englert avevano iniziato il loro articolo scrivendo: "*It is of interest to inquire whether gauge vector mesons* [mesone era un sinonimo di bosone al tempo] *acquire mass through interaction; by a gauge vector meson*

we mean a Yang-Mills field associated with the extension of a Lie group from global to local symmetry… In this note, we shall show that in certain cases vector mesons do indeed acquire mass when the vacuum is degenerate with respect to a compact Lie group. Theories with degenerate vacuum (broken symmetry) have been the subject of intensive study since their inception by Nambu."

Ma altri teorici stavano lavorando al problema. Quattro mesi dopo, il 12 ottobre, "Physical Review Letters" ricevette un articolo di Gerald Guralnik, Carl Hagen e Tom Kibble intitolato "*Global Conservation Laws and Massless Particles*", che uscirà il 16 novembre [10] con risultati simili a quelli di Brout e Englert e di Higgs. Gli autori, come ricorda Gularnik [11], ricevettero, all'Imperial College a Londra, copia degli articoli di questi ultimi giusto dopo aver completato il loro. All'Imperial College, apparentemente, la posta arrivava ancora più in ritardo che a Edinburgo. Ancora, Alexander Migdal e Alexander Polyakov lavorarono sempre nel 1964, ancora una volta in maniera indipendente, in Russia sulla generazione della massa nelle teorie di gauge. L'articolo fu inviato alla rivista alla fine del 1965 [12].

Acceniamo ora al meccanismo. I campi detti "di gauge" dell'elettromagnetismo quantistico sono gli equivalenti dei potenziali, scalare e vettore, dell'elettromagnetismo classico, cioè del quadrivettore potenziale. Come ben noto si può scegliere arbitrariamente una "gauge", si può cioè fissare arbitrariamente la quadri-divergenza del quadrivettore potenziale, senza cambiare gli osservabili fisici. Infatti la componente longitudinale e quella temporale del potenziale non hanno senso fisico. Le componenti trasversali lo hanno e non cambiano sotto trasformazioni di gauge. Questa invarianza di gauge esiste sia in elettrodinamica classica sia quantistica. Nel meccanismo BEH, il teorema di Goldstone viene evaso, facendo sì che i bosoni di Goldstone divengano gli stati non osservabili dei bosoni vettori. Gli stati trasversali di quest'ultimi divengono i bosoni vettori che osserviamo.

Nella simmetria $SU(2)\otimes U(1)$ della Lagrangiana elettrodebole la rottura spontanea è ottenuta includendo un potenziale $V(\Phi)$ che contiene il campo complesso Φ. Questo, il campo di Higgs, è un doppietto isotopico (quattro componenti reali in totale, due cariche e due neutre). Il potenziale ha la forma

$$V(\Phi) = \frac{1}{2}\mu^2\Phi^2 + \frac{1}{4}\lambda\Phi^4 \,. \tag{8}$$

Se ci fosse solo il termine Φ^2 il potenziale corrisponderebbe a una particella scalare di massa μ. Il termine proporzionale a Φ^4 descrive l'interazione dei quanti del campo con se stessi. Il valore della costante adimensionale λ che ne misura l'importanza non è previsto dalla teoria, ma va determinato sperimentalmente. Il passo importante è considerare μ immaginario, correspondente a $\mu^2 < 0$. Si vede facilmente che la forma del potenziale è quella del fondo di bottiglia (vedi figura), con un massimo per $\Phi = 0$ e minimi, la gola del fondo, a

$$|\Phi|^2_{\text{min}} = \frac{-\mu^2}{\lambda} \equiv \upsilon^2 \tag{9}$$

υ è chiamato valore aspettato del vuoto ("vacuum expectation value" o VEV).

Successivamente, si applica una trasfomazione di gauge al campo Φ, accoppiandolo ai campi di gauge. La rottura spontanea della simmetria trasforma poi tre delle componenti di Φ nelle componenti longitudinali di W^+, W^- and Z^0, dando loro massa. Il quarto bosone vettore, il fotone, rimane senza massa. La quarta componente di Φ, che è neutra e scalare, diventa il bosone scalare di Higgs. In questo modo i bosoni vettori e scalari sono diverse componenti dello stesso sistema.

Il VEV è fissato dalla sua relazione con la costante di Fermi

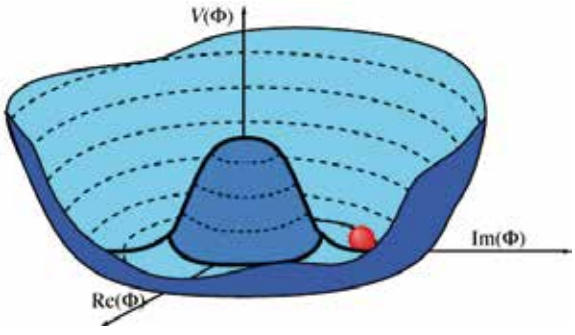
$$\upsilon^2 = \frac{1}{G_F\sqrt{2}} \simeq (246\ \text{GeV})^2 \tag{10}$$

Il bosone di Higgs si può pensare come uno stato eccitato sopra il vuoto scelto dal sistema. La frequenza delle vibrazioni perpendicolarmente alla gola del potenziale corrispondono alla sua massa. Analogamente, la pallina nel fondo della bottiglia si può trovare in un modo di oscillazione attorno al minimo di energia perpendicolarmente alla gola. La frequenza di vibrazione è tanto maggiore quanto maggiore è la curvatura del fondo, tendendo a zero per curvatura nulla. Si comprende che l'altro modo, quello del moto nella direzione della gola, non dà oscillazioni, o, se si vuole, dà oscillazioni di frequenza nulla. Esso rimane cioè senza massa.

La teoria non fissa la massa del bosone di Higgs, ma solo la sua relazione con la costante di auto-accoppiamento

$$M_H = \sqrt{2\lambda}\upsilon \,. \tag{11}$$

Il 4 luglio 2011 il CERN ha annunciato, finalmente, la scoperta di un nuovo bosone che ha tutte le caratteristiche del bosone di Higgs, nei limiti della precisione sperimentale raggiunta. La scoperta corona uno sforzo gigantesco, durato vent'anni, per la costruzione e messa in funzione del nuovo grande collisore protone-protone LHC e degli esperimenti ATLAS e CMS, da parte, questi ultimi, di 3000 fisici e ingegneri ciascuno. L'importanza della scoperta è stata riconosciuta dalla SIF con il suo premio più prestigioso, il premio e medaglia Enrico Fermi, come si legge in altre pagine di questo numero.



Il potenziale dell'equazione (8).

Ma perché ci sono voluti quasi cinquant'anni?

Un grande lavoro teorico e sperimentale è stato necessario. Ne ricordiamo le tappe principali. Gli articoli del 1964 descrivono il meccanismo che dà la massa ai bosoni vettori, ma i fermioni rimanevano senza. Fu Weinberg [13] a riconoscere, nel 1967, che lo stesso meccanismo poteva essere usato coerentemente per dar massa anche a quark e leptoni carichi, tramite il cosiddetto accoppiamento di Yukawa.

L'elettrodinamica classica è, come ricordato, invariante sotto trasformazioni di gauge. Così lo è quella quantistica con $U(1)$ come gruppo di simmetria. Le trasformazioni sono semplicemente un fattore di fase $e^{i\alpha(\mathbf{r},t)}$ dove, attenzione, la fase α è funzione delle coordinate spazio-temporali. Si tratta quindi di una simmetria di gauge locale. Le trasformazioni inoltre, interessano anche i campi dei fermioni carichi che sono sorgenti del campo elettromagnetico. La teoria dell'unificazione elettrodebole sviluppata tra il 1967 (Glashow [14] e Salam [15], oltre a Weinberg sopra citato, ed altri) e il 1971 ('t Hooft e Veltman [16]) è anch'essa una teoria di gauge, ma più complessa. Il gruppo di simmetria è, come ricordato, il prodotto $SU(2)\otimes U(1)$. In essa compaiono due bosoni vettori neutri, uno per ciascuno dei due gruppi fattori, che non sono però i bosoni fisici. Questi ultimi, il fotone e la Z^0, ne sono sovrapposizioni, pesate con il seno ed il coseno dell'angolo di mescolamento debole θ_W, che assieme alla costante di Fermi, è parametro fondamentale della teoria.

La teoria prevedeva l'esistenza di correnti deboli neutre, ad esempio la diffusione elastica neutrino-elettrone. Furono scoperte al CERN con la camera a bolle gigante Gargamelle nel 1973 [17] (per maggiori elementi vedi [18]). Ci volle una serie di esperimenti per misurare l'angolo di mescolamento con grande precisione e ad energie diverse. I bosoni vettori *W* e *Z* furono scoperti nel 1983 al CERN da Rubbia e collaboratori al collisore protone antiprotone SPS. Seguirono i test di precisione della teoria, con il LEP al CERN, un collisore positrone-elettrone che raggiunse l'energia di 215 GeV nel centro di massa (la massa della *Z* in particolare fu determinata entro 25 ppm), con il collisore HERA elettrone-protone al laboratorio DESY ad Amburgo e con il Tevatron, protone-antiprotone al Fermilab presso Chicago (massa della *W* a 187 ppm, massa del top a meglio del 1%).

Ma l'ultimo tassello, il bosone di Higgs, mancava. La teoria non ne prevede direttamente la massa, ma lo fa con le "correzioni radiative" a osservabili misurate, quali le masse dei bosoni vettori e del quark top. Dato che gli effetti sono molto piccoli, servono misure precise. Nota la massa, tutte le altre caratteristiche del bosone sono previste. Se la massa fosse stata un 10% più piccola il LEP l'avrebbe scoperto. Il CERN aveva messo in programma, almeno a partire da un Workshop tenuto a Losanna nel marzo 1984, un collisore adronico, LHC. Ci vollero dieci anni per l'approvazione, nel dicembre 1994, da parte del Consiglio del CERN, sotto la direzione di C. Rubbia. E ci vollero molti anni ancora per la costruzione della macchina e degli esperimenti.

Ma rimane ancora molto da fare, sia teoricamente sia sperimentalmente, sia a LHC sia in laboratori sotterranei. ATLAS e CMS hanno misurato le caratteristiche del bosone solo nei limiti della statistica sinora raccolta. Nel 2015 LHC, attualmente in manutenzione, ripartirà ad energia e luminosità maggiori. Il meccanismo BEH spiega la massa dei fermioni carichi, ma non dei neutrini, che invece ce l'hanno, sia pure molto piccola. La gran parte della massa nell'Universo, la materia oscura, è composta di particelle neutre che ci sono ignote.

A. Bettini
Università di Padova, INFN, Sezione di Padova
Laboratorio Subterráneo de Canfranc, Spain

Bibliografia

[1] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2013/announcement.html
[2] R. P. Feynman, R. B. Leighton, M. Sands, "*The Feynman lectures on physics*", Vol. II (Addison Wesley) 1965, Cap. 7.3.
[3] J. D. Jackson, "*Elettrodinamica classica*" (Zanichelli, Bologna) 1962, Cap. 10.8.
[4] J. Goldstone, "*Field theories with superconductor solutions*", *Nuovo Cimento*, 19 (1961) 154.
[5] P. W. Anderson, "*Plasmon, gauge invariance, and mass*", *Phys. Rev*., 130 (1962) 439.
[6] Y. Nambu, "*A superconductor model of elementary particles and its consequences*", Lezione a Purdue (1960), in "*Broken symmetries. Selected papers by Y. Nambu*", a cura di T. Educhi e K. Nishijima (World Scientific) 1955; Y. Nambu e G. Iona Lasinio, "*A dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity*", *Phys. Rev. B,* 122 (1961) 345; 124 (1961) 246; Y. Nambu e D. Lurié, "*Chirality conservation and soft pion production*", *Phys. Rev.,* 125 (1962) 862; Y. Nambu e E. Shrauner, "*Soft pion emission induced by electromagnetic and weak interactions*", *Phys. Rev*., 128 (1962) 862.
[7] P. W. Higgs, "*Broken symmetries, massless particles and gauge fields*", *Phys. Lett*., 12 (1964) 132.
[8] P. W. Higgs. "*Broken symmetries, and the masses of the gauge bosons*", *Phys. Rev. Lett*. 13 (1964) 508.
[9] F. Englert e R. Brout. "*Broken symmetry and the mass of the gauge vector mesons*", *Phys. Rev. Lett.,* 13 (1964) 321.
[10] G. S. Guralnik, C. R. Hagen e T. W. B. Kibble. "*Global Conservation Laws and Mass-less Particles*", *Phys. Rev. Lett*., 13 (1964) 585.
[11] G. S. Guralnik. "T*he History of the Guralnik, Hagen and Kibble development of the Theory of Spontaneous Symmetry Breaking and Gauge Particles*", arXiv:0907.3466 (2009).
[12] A. A. Migdal e A. M. Polyakov, "*Spontaneous break-down of strong interaction symmetry and absence of massless particles*", *Sov. Phys. JETP,* 51 (1966) 135.
[13] S. Weinberg, "*A model for leptons*", *Phys. Rev. Lett.,* 19 (1967) 1264.
[14] S. L. Glashow, *Nucl. Phys*., 22 (1961) 579.
[15] A. Salam, *Proc. of 8th Nobel Symposium, Lerum, Sweden, 19-25 May, 1968,* pp. 367-377.
[16] G. 't Hoft, *Nucl. Phys. B,* 35 (1971) 167; G. 't Hoft e M. Veltman, *Nucl. Phys. B,* 44 (1972) 189.
[17] F. J. Hasert *et al., Phys. Rev. Lett. B,* 46 (1973) 121.
[18] D. Haidt e A. Pullia, *Riv. Nuovo Cimento*, 36 (2013) 335.

ANNO INTERNAZIONALE DELLA CRISTALLOGRAFIA – 2014: CENT'ANNI DI DIFFRAZIONE

A differenza dei Cent'anni di Gabriel García-Márquez non è sicuramente la solitudine a segnare la storia della Cristallografia Moderna. Anzi, tutt'altro. In splendida sinergia con discipline scientifiche ben consolidate, come la Matematica, la Fisica, la Chimica, la Mineralogia e le Scienze della Vita, la Cristallografia ha contribuito nell'ultimo secolo allo sviluppo della Scienza e costituito la base per scoperte di elevata rilevanza scientifica ed applicativa. Da disciplina puramente descrittiva e di catalogazione, di stile "ottocentesco" e Linneano, grazie allo sviluppo di teorie raffinate e all'avanzamento di nuove tecniche strumentali e di calcolo, all'alba del terzo millennio la Cristallografia rappresenta una risorsa fondamentale per numerose altre discipline, tra cui le Scienze dei Materiali, le Biotecnologie, la tutela dei Beni Culturali, e tante altre. Computer, cellulari, e farmaci moderni non esisterebbero senza l'apporto fornito dai cristallografi che operano nei diversi ambiti di ricerca, utilizzando le più avanzate tecniche strumentali disponibili, per lo più basate sul fenomeno della diffrazione da cristalli, osservata per la prima volta appunto 100 anni fa.

Per testimoniare il valore scientifico di questa disciplina, il 2014 è stato ufficialmente dichiarato dalle Nazioni Unite l'Anno Internazionale della Cristallografia (www.iycr2014.org): le celebrazioni saranno organizzate congiuntamente dall' International Union of Crystallography (IUCr, www.iucr.org), che promuove la cooperazione fra i cristallografi e le loro associazioni, attive in oltre 80 Paesi, e dall'UNESCO, che intende collegare le celebrazioni di IYCr2014 con il precedente Anno Internazionale della Chimica (2011) ed il futuro Anno Internazionale della Luce (2015).

La scelta del 2014, tutt'altro che occasionale, intende celebrare il Premio Nobel per la Fisica assegnato a Max von Laue (1914) per la scoperta della diffrazione dei raggi X da parte dei cristalli, immediatamente seguito (1915) da quello di W.H. e W.L. Bragg (padre e figlio) per l'analisi della struttura cristallina tramite raggi X: dobbiamo infatti a W.L. Bragg la legge fondamentale, $n\lambda = 2d \sin\theta$, che mette in relazione le distanze tra i piani atomici nel cristallo (d), la lunghezza d'onda dei raggi X usati come sonda (λ) e l'angolo di diffrazione (2θ). Le straordinarie osservazioni di von Laue e dei Bragg hanno aperto la porta ad un secolo di Cristallografia strutturale basata sulla diffrazione dei raggi X, mediante la quale si sono sviluppate le teorie e i metodi sperimentali utilizzati per la profonda comprensione dell'organizzazione degli atomi in molecole e solidi estesi. L'accessibilità agli accurati risultati cristallografici su molecole e strutture cristalline, raccolti a livello mondiale in specifiche banche dati, permette l'interpretazione a livello atomico e molecolare del comportamento chimico-fisico di materiali, farmaci e persino di biomolecole complesse (come proteine e virus), permettendo il design e l'ingegneria molecolare delle loro funzionalità e reattività.

Molte delle tappe fondamentali della Storia della Cristallografia sono state giustamente riconosciute da Premi Nobel per la Fisica o per la Chimica (www.iucr.org/people/nobel-prize), tanto che la Cristallografia rimane una delle Scienze interdisciplinari che ha prodotto più Premi Nobel (quasi una trentina!) per contributi scientifici a larga ricaduta.

Ricordiamo fra gli altri:

Peter J.W. Debye (Premio Nobel per la Chimica nel 1936), padre degli studi di molecole e gas mediante metodi diffrattometrici,

George P. Thomson (Premio Nobel per la Fisica nel 1937) per la scoperta della diffrazione degli elettroni da cristalli,

Linus C. Pauling (Premio Nobel per la Chimica nel 1954), per la sua straordinaria interpretazione della natura dei legami chimici e della cristallochimica di strutture complesse,

Francis H.C. Crick e James D. Watson (Premi Nobel per la Medicina nel 1962) per la determinazione della struttura tridimensionale del DNA,

Max F. Perutz (Premio Nobel per la Chimica nel 1962) per lo studio strutturale delle proteine globulari,

Dorothy C. Hodgkin (Premio Nobel per la Chimica nel 1964) per la determinazione strutturale di importanti sostanze biochimiche, tra cui penicillina, colesterolo, vitamina B12, insulina,

Herbert A. Hauptman e Jerome Karle (Premi Nobel per la Chimica nel 1985) per il loro apporto agli innovativi metodi diretti, altamente performanti, di determinazione strutturale,

Harold W. Kroto (Premio Nobel per la Chimica nel 1996) per la scoperta dei fullereni e l'apertura al nuovo mondo del carbonio nanostrutturato,

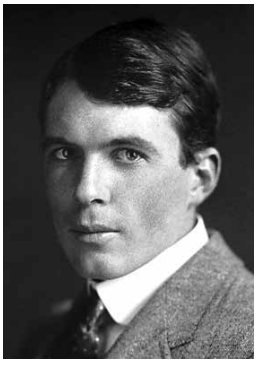
Ada E. Yonath (Premio Nobel per la Chimica nel 2009) per gli studi sulla struttura e la funzione dei ribosomi, ed infine

Dan Shechtman (Premio Nobel per la Chimica nel 2011) per la scoperta dei quasi-cristalli.

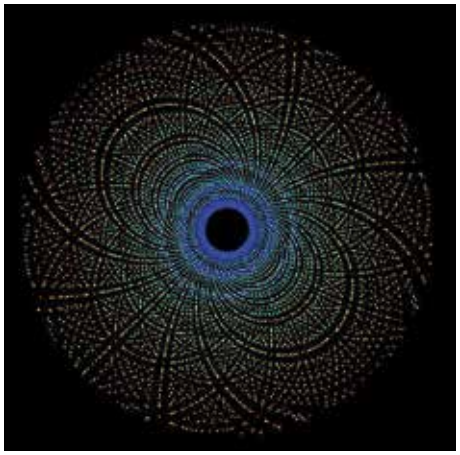
Per rendere giustizia agli innumerevoli ed importanti contributi di scienziati e ricercatori, anche italiani, questa breve sintesi dovrebbe in realtà essere molto più estesa e dettagliata. Nel tentativo di colmare questa lacuna, l'intera celebrazione internazionale del 2014 vuole pertanto rappresentare non solo un tributo ai numerosi cristallografi che, dopo von Laue, hanno reso la Cristallografia una scienza fondamentale, ma anche mostrare le ampie ricadute che le metodologie cristallografiche hanno prodotto, oltre a favorire la comprensione stessa della (talvolta complessa) organizzazione dei solidi. Il successo della Cristallografia [1] è stato reso possibile dallo sviluppo parallelo di tecniche sperimentali (pensiamo all'introduzione della radiazione di sincrotrone e dei fasci di neutroni), dalle aumentate possibilità di calcolo nell'ultimo quarto di secolo e dagli sviluppi teorici nella soluzione del cosiddetto "problema della fase" e nella descrizione di simmetrie complesse (con particolare riguardo alle simmetrie in spazi multidimensionali, utili nella descrizione dei cristalli aperiodici e quasi-periodici [2, 3]).

Molti di noi sono affascinati dai cristalli naturali per la loro bellezza, forma, colore e lucentezza o trasparenza. I cristalli e le gemme sono spesso valorizzati nelle vetrine dei musei, incastonati in scettri e diademi regali o, più semplicemente, adornano gioielli ed ornamenti quotidiani. Ma i cristalli non hanno solo un valore squisitamente estetico. Che noi ce ne rendiamo conto o no, i cristalli sono "ovunque" intorno a noi: ghiaccio, sale, zucchero, aspirina, metalli, plastiche, illuminatori LED, memorie di PC, cellulari e schermi televisivi sono costituiti da materiali cristallini. La Cristallografia, esplorando a livello atomico la struttura dei cristalli rende

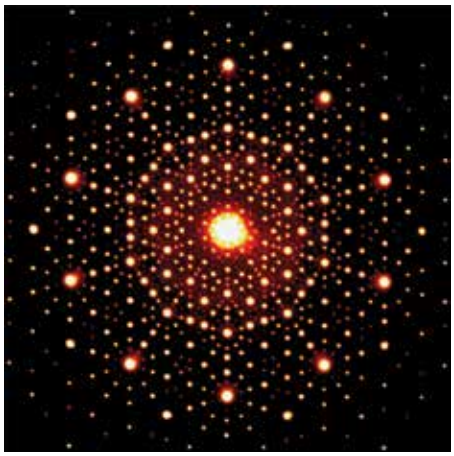
Max von Laue (1879 - 1960).



William Lawrence Bragg (1890 - 1971).



Simulazione di uno spettro di diffrazione da cristallo mediante radiazione policromatica, detta diffrazione di Laue.



Spettro sperimentale di diffrazione elettronica da un quasi cristallo.

I cristalli naturali, quando sono particolarmente ben formati, come questa acquamarina della Namibia, affascinano per la loro estetica e perfezione.

possibile la comprensione della natura stessa della materia, la definizione delle loro proprietà, ed infine la sintesi di specie con nuove ed interessanti applicazioni. Senza la conoscenza strutturale derivata da dati diffrattometrici, non esisterebbero materiali innovativi, non si assisterebbe allo sviluppo di nuovi farmaci, non si comprenderebbero l'attività delle molecole biologiche, la chimica supramolecolare, la mineralogia planetaria e di altissima pressione, l'autoassemblamento dei materiali biomimetici e fotonici, etc.: non è esagerato affermare che la Cristallografia oggi riveste in qualche modo un ruolo fondamentale in diverse attività di ricerca di frontiera.

Vale forse anche la pena ricordare che le conoscenze cristallografiche non sono solo quelle inserite nei programmi informatici di analisi dati, sotto forma di complessi algoritmi di calcolo che utilizzano "tensori" quali descrittori dell'anisotropia delle proprietà chimiche e fisiche della materia [4]. La vasta disponibilità di programmi efficienti e di imponenti banche dati rende la vita dei cristallografi più facile, ma non rende tutti cristallografi. La cultura cristallografica si sviluppa attraverso una rigorosa ed approfondita conoscenza della natura chimico-fisica dello stato solido ed una percezione della complessità dei materiali e delle loro trasformazioni. La rapida scomparsa degli insegnamenti cristallografici di base in molti curricula universitari può rappresentare un problema futuro per tutti i gruppi di ricerca che necessitano di caratterizzazioni strutturali sofisticate. Quale conseguenza, riteniamo che la perdurante difficoltà nel reperimento di giovani ricercatori con adeguate conoscenze cristallografiche, in accademia ed in ambito industriale, oltre che presso le grandi sorgenti di radiazione, sia un segnale preoccupante.

Guardando al futuro, le sfide dichiarate della Cristallografia sono le stesse segnate in agenda dal "Millennium Development Goals" delle Nazioni Unite (`www.un.org/millenniumgoals/`): riduzione della povertà, accesso a cibo ed acqua pulita, sviluppo della salute e transizione verso sorgenti di energia autosostenibili. Lo sforzo è quindi rivolto verso l'estensione delle applicazioni, delle tecniche e delle conoscenze cristallografiche in settori connessi con l'agricoltura, la produzione di cibo, il riciclo dei rifiuti, lo sviluppo di farmaci e di cure per uomini, animali e piante, la produzione di energia sostenibile e la cattura della CO_2. È un dato di fatto che tutte le tecnologie innovative basate su materiali avanzati e molecole per la salute (nano- e bio-tecnologie) sono necessariamente collegate a caratterizzazioni sperimentali di tipo cristallografico. È quindi utile e doveroso che le celebrazioni di IYCr2014 mostrino o ricordino a tutti noi l'importanza presente e futura di questa affascinante, stimolante e impegnativa disciplina.

In ambito nazionale, le celebrazioni di IYCr2014 sono coordinate dall'Associazione Italiana di Cristallografia e coinvolgono molte sedi universitarie ed istituti di ricerca. L'elenco completo delle attività sarà presto disponibile sul sito dell'Associazione: `http://www.cristallografia.org/`. Tra queste, un'ampia mostra di carattere divulgativo sui vari aspetti della Cristallografia storica e moderna, organizzata presso l'Università di Padova nel periodo ottobre 2013 - febbraio 2014 dal titolo "CRISTALLI!"(`www.geoscienze.unipd.it/ cristalli/welcome.html`) sarà resa itinerante ed allestita presso numerose altre sedi, tra cui l'Università dell'Insubria a Como, l'Università di Parma, l'Università della Calabria ad Arcavacata di Rende, l'Università di Modena e Reggio, ed il Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e la Tecnologia dei Materiali a Firenze.

G. Artioli
Università di Padova

N. Masciocchi
Università dell'Insubria, Sede di Como

Una mostra divulgativa dal titolo "CRISTALLI!" sarà visibile in varie città italiane durante l'Anno Internazionale della Cristallografia 2014.

Bibliografia

[1] D. Schwarzenbach, "*The success story of crystallography*", *Acta Cryst.*, A68 (2011) 57.
[2] D. Levine, P.J. Steinhardt, "*Quasicrystals: a new class of ordered crystals*", *Phys. Rev. Lett.*, 53 (1984) 2477.
[3] P.J. Steinhardt, S. Östlund, "*Physics of quasicrystals*" (World Scientific, Singapore) 1987.
[4] C. Giacovazzo (Editor), "*Fundamentals of crystallography*", 3rd Ed. (Oxford University Press) 2011.

GENOVATE
Transforming Organisational Culture for Gender Equality in Research and Innovation

QUESTIONE DI GENERE: GENOVATE, IL PROGETTO EUROPEO CON PARTECIPAZIONE ITALIANA

Si è tenuta a Napoli a inizio estate la presentazione in Italia di GENOVATE, progetto europeo di ricerca-azione finanziato dal 7° Programma Quadro, che mira ad affrontare la questione della disuguaglianza di genere nella ricerca.

L'attenzione per questo tema era stata riconosciuta come decisiva già dall'Agenda di Lisbona del 2000, e la creazione della European Research Area ha sottolineato di fatto il valore strategico dell'uguaglianza di genere nell'area della ricerca e dell'innovazione, affermando che:

- l'eccellenza nella ricerca richiede accessibilità, risorse, e opportunità di avanzamento per i ricercatori migliori, indipendentemente dal genere;
- l'innovazione si arricchisce grazie alle diversità di prospettive e contributi, requisito possibile solo con team di ricerca realmente diversi.

Tuttavia, dati non confortanti che continuano a emergere anche dalla pubblicazione "She Figures 2012" mostrano chiaramente l'esigenza di progetti concreti che colmino le differenze e i divari esistenti.

Il progetto GENOVATE intende attuare strategie innovative per la trasformazione delle strutture organizzative, allo scopo di pervenire a una gestione istituzionale sensibile, efficace e rispettosa delle differenze di genere. Esso si propone di sviluppare le conoscenze necessarie per l'implementazione di strategie locali verso l'uguaglianza di genere in organizzazioni accademiche di diversi paesi d'Europa.

Coordinato e condotto dalla Professoressa Uduak Archibong dell'Università di Bradford, GENOVATE vede coinvolte, oltre a questa, sei altre università europee: University College Cork, Irlanda; Lulea University of Technology, Svezia; Ankara University, Turchia; Trnava University, Slovacchia; Universidad Complutense de Madrid, Spagna e, in Italia, l'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (`http://www.genovate.unina.it/`), per la quale è Coordinatrice Nazionale Ofelia Pisanti, Ricercatrice del Dipartimento di Fisica.

Il cuore del progetto è l'attuazione, in sei delle istituzioni partner, di un Gender Equality Actions Plan (GEAP), ovvero un piano di azioni concrete e sostenibili per effettuare cambiamenti culturali e strutturali nelle politiche di genere nella ricerca, nell'università e nell'innovazione (la settima istituzione, l'Universidad Complutense de Madrid, ha il compito di effettuare, durante i quattro anni di vita del progetto, una valutazione continua delle modalità di approccio e dei risultati ottenuti). I partner di GENOVATE sono caratterizzati dall'avere esperienze diverse nell'approccio alla questione di genere; ognuno, dunque, con il supporto di collaboratori e stakeholder, affronterà queste tematiche elaborando un GEAP contestualizzato, costruito dove possibile su strutture e criteri già esistenti, o altrimenti sviluppando nuove pratiche e sistemi. Le aree coperte nei piani di azione includono temi come:

- uguaglianza di genere nel reclutamento, nella progressione di carriera e nel supporto alla ricerca;
- attenzione all'ambiente di lavoro e al cambiamento culturale;
- competenza nell'uguaglianza di genere in questioni come il peer review, la valutazione e i sistemi di innovazione;
- sviluppo di ambienti di lavoro positivi e di una cultura dell'organizzazione competente nelle questioni di genere;
- radicamento di una prospettiva di uguaglianza di genere nell'amministrazione universitaria;
- sviluppo di un modello sociale di implementazione dell'uguaglianza di genere;
- determinazione di benchmark di eccellenza nella ricerca e nell'innovazione attraverso lo scambio di conoscenze e la disseminazione.

L'implementazione dei GEAP continuerà anche dopo la scadenza temporale del progetto, per assicurare uguali opportunità a donne e uomini nell'ambito della ricerca e degli organismi decisionali delle università.

Stakeholder internazionali e nazionali, tra cui la SIF, e un International Advisory Board, coopereranno con i sette attori europei di questo progetto. Questi saranno invitati a partecipare a National Learning Circles e riceveranno regolari resoconti sui progressi conseguiti e copie delle pubblicazioni attraverso un'apposita mailing list.

Il progetto GENOVATE, che ha avuto la sua presentazione ufficiale presso l'Università di Bradford con una Convention internazionale tenutasi a marzo 2013, è nella fase operativa che comprende otto Work Packages (WP). Tre di questi hanno come obiettivo le principali tematiche di intervento del progetto: l'uguaglianza di genere nella vita lavorativa dei ricercatori e delle ricercatrici, dal reclutamento alla progressione della carriera e al supporto nella ricerca (WP3); la consapevolezza sulle questioni di genere e il cambiamento culturale in ambito lavorativo (WP4); la valorizzazione della diversità come fonte di arricchimento nella ricerca e nell'innovazione (WP5). L'Università degli Studi di Napoli "Federico II" è responsabile della realizzazione del WP6: lo scambio della conoscenza all'interno del consorzio e lo sviluppo di "case studies" istituzionali. In questo ambito, il team napoletano ha già realizzato una piattaforma informatica, la GENOVATE Community (`http://www.genovate.unina.it/community/`), che ha lo scopo di rendere possibile ai partner del progetto la condivisione delle informazioni necessarie al lavoro degli otto WP, e la raccolta delle esperienze istituzionali nella realizzazione dei GEAP, che costituirà la base sulla quale verranno realizzati i case studies.

È giusto concludere ricordando che la partecipazione italiana a questo progetto è sì l'inizio di un percorso europeo, ma è anche il riconoscimento di un lungo lavoro svolto negli ultimi anni nell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Da un lato, infatti, grazie all'impegno di alcune Senatrici e Consigliere d'Amministrazione dell'Ateneo, il nuovo statuto dell'università partenopea sancisce che debba essere rispettata la rappresentanza

di genere per un terzo del totale dei membri designati del Consiglio di Amministrazione. Dall'altro, molto è stato fatto in questi anni per dare visibilità alla rappresentanza femminile nella Scienza, in particolare grazie alle attività del Coordinamento Napoletano "Donne nella Scienza", un'associazione nata nel 2007 e costituita da ricercatrici della Federico II e di altri centri di ricerca, tra cui, INFN e CNR, che operano nei campi della Biologia, Chimica, Fisica, Architettura e Ingegneria. Obiettivo dell'associazione è promuovere azioni positive per affrontare il problema della scarsa rappresentanza delle donne nella ricerca e nelle carriere scientifiche, che produce non solo ingiustizia sociale ma anche un notevole spreco di risorse umane.

Sono state queste attività, e l'impegno di coloro che le hanno promosse, a creare quella base di competenze e quella rete necessaria per la partecipazione al progetto europeo GENOVATE.

S. Croci
Università di Parma

Uduak Archibong è Professor of Diversity dell'Università di Bradford (UK). In questa istituzione riveste le cariche di Direttore del Centre for Inclusion and Diversity e di Strategic Lead for Equality and Diversity, con la responsabilità di realizzare il GEAP di Bradford. È stata a capo di numerosi progetti sullo sviluppo di una gestione istituzionale rispettosa delle differenze di genere e coordinatrice di progetti europei, fra cui la recente ricerca su Positive Action Measures condotta nell'Unione Europea, Canada, Stati Uniti e Sud Africa (PAMECUS). Fa parte del comitato editoriale di numerose riviste accademiche e si è fatta paladino dei temi dell'uguaglianza e della diversità.

Ofelia Pisanti è Ricercatrice al Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", dove svolge la sua attività nell'ambito della Cosmologia e della Fisica delle astroparticelle. In questi campi, ha studiato e sviluppato un nuovo codice per il calcolo delle abbondanze nell'universo degli elementi fondamentali ed è autrice di una nuova versione del Monte Carlo, CORSIKA, usato nella comunità dei raggi cosmici per la simulazione degli sciami di particelle in atmosfera. È membro fondatore del Coordinamento Napoletano "Donne nella Scienza", che si occupa da alcuni anni della questione della rappresentanza femminile nella ricerca e nelle carriere scientifiche e, in tale veste, è stata co-organizzatrice di una ormai lunga serie di iniziative in questo ambito.

STRUCTURAL CHANGE IN PROMOTING GENDER EQUALITY IN RESEARCH

On 21-22 November 2013, the International SAPGERIC conference on "*Structural Change Promoting Gender Equality in Research*" took place in Vilnius, Lithuania. The conference was organized by the Vilnius University Institute of Theoretical Physics and Astronomy, under the auspices of the Lithuanian Presidency of the EU Council. The conference focussed on the responsibility of the leadership in European research which should not only be responsible for establishing a gender policy in their research organisations, but also be accountable for the success of that policy according to well-defined metrics. In her key talk, Máire Geoghegan-Quinn, European Commissioner for Research, Innovation and Science, emphasized her commitment to increase the number of women scientists in research in Europe and in academic leadership positions. Applicants for all Horizon2020 programmes will be asked to include in their application as a deliverable the gender-dimension at every phase of their project, in particular their strategy toward gender-balance in the project management and recruitment of scientists for the project.

The importance of visibility and role models was a central theme in almost all presentations. As a practical tool to facilitate this, the German Robert Hart foundation presented its international web-portal AcacdemiaNet with profiles of excellent women academics. Quality is ensured by allowing nominations by partners of AcademiaNet only – typically funding agencies, universities and selected industrial companies. At the conference, I presented the equal opportunity policy of the European Physical Society (EPS). This policy aims indeed at enhancing the visibility of female physicists via role models, for instance with the recently established "Emmy Noether" Distinction for Women in Physics. Next step of EPS is to enhance the number of women in its own organisation by defining charters for equal opportunity with its topical Divisions and interdisciplinar Groups and keeping a keen eye on a balanced composition of its Action Committees.

E. de Wolf
EPS Executive Committee
NIKHEF - University of Amsterdam, The Netherlands

Conference webpage at `http://www.sapgeric.eu2013.vu.lt`
AcademiaNet: `http://www.academia-net.org`
Emmy Noether Distinction: `http://www.eps.org/?page=distinction_prize_en`

ANNO INTERNAZIONALE DELLA CRISTALLOGRAFIA – 2014: CENT'ANNI DI DIFFRAZIONE

A differenza dei Cent'anni di Gabriel García-Márquez non è sicuramente la solitudine a segnare la storia della Cristallografia Moderna. Anzi, tutt'altro. In splendida sinergia con discipline scientifiche ben consolidate, come la Matematica, la Fisica, la Chimica, la Mineralogia e le Scienze della Vita, la Cristallografia ha contribuito nell'ultimo secolo allo sviluppo della Scienza e costituito la base per scoperte di elevata rilevanza scientifica ed applicativa. Da disciplina puramente descrittiva e di catalogazione, di stile "ottocentesco" e Linneano, grazie allo sviluppo di teorie raffinate e all'avanzamento di nuove tecniche strumentali e di calcolo, all'alba del terzo millennio la Cristallografia rappresenta una risorsa fondamentale per numerose altre discipline, tra cui le Scienze dei Materiali, le Biotecnologie, la tutela dei Beni Culturali, e tante altre. Computer, cellulari, e farmaci moderni non esisterebbero senza l'apporto fornito dai cristallografi che operano nei diversi ambiti di ricerca, utilizzando le più avanzate tecniche strumentali disponibili, per lo più basate sul fenomeno della diffrazione da cristalli, osservata per la prima volta appunto 100 anni fa.

Per testimoniare il valore scientifico di questa disciplina, il 2014 è stato ufficialmente dichiarato dalle Nazioni Unite l'Anno Internazionale della Cristallografia (www.iycr2014.org): le celebrazioni saranno organizzate congiuntamente dall' International Union of Crystallography (IUCr, www.iucr.org), che promuove la cooperazione fra i cristallografi e le loro associazioni, attive in oltre 80 Paesi, e dall'UNESCO, che intende collegare le celebrazioni di IYCr2014 con il precedente Anno Internazionale della Chimica (2011) ed il futuro Anno Internazionale della Luce (2015).

La scelta del 2014, tutt'altro che occasionale, intende celebrare il Premio Nobel per la Fisica assegnato a Max von Laue (1914) per la scoperta della diffrazione dei raggi X da parte dei cristalli, immediatamente seguito (1915) da quello di W.H. e W.L. Bragg (padre e figlio) per l'analisi della struttura cristallina tramite raggi X: dobbiamo infatti a W.L. Bragg la legge fondamentale, $n\lambda = 2d \sin\theta$, che mette in relazione le distanze tra i piani atomici nel cristallo (d), la lunghezza d'onda dei raggi X usati come sonda (λ) e l'angolo di diffrazione (2θ). Le straordinarie osservazioni di von Laue e dei Bragg hanno aperto la porta ad un secolo di Cristallografia strutturale basata sulla diffrazione dei raggi X, mediante la quale si sono sviluppate le teorie e i metodi sperimentali utilizzati per la profonda comprensione dell'organizzazione degli atomi in molecole e solidi estesi. L'accessibilità agli accurati risultati cristallografici su molecole e strutture cristalline, raccolti a livello mondiale in specifiche banche dati, permette l'interpretazione a livello atomico e molecolare del comportamento chimico-fisico di materiali, farmaci e persino di biomolecole complesse (come proteine e virus), permettendo il design e l'ingegneria molecolare delle loro funzionalità e reattività.

Molte delle tappe fondamentali della Storia della Cristallografia sono state giustamente riconosciute da Premi Nobel per la Fisica o per la Chimica (www.iucr.org/people/nobel-prize), tanto che la Cristallografia rimane una delle Scienze interdisciplinari che ha prodotto più Premi Nobel (quasi una trentina!) per contributi scientifici a larga ricaduta.

Ricordiamo fra gli altri:

Peter J.W. Debye (Premio Nobel per la Chimica nel 1936), padre degli studi di molecole e gas mediante metodi diffrattometrici,

George P. Thomson (Premio Nobel per la Fisica nel 1937) per la scoperta della diffrazione degli elettroni da cristalli,

Linus C. Pauling (Premio Nobel per la Chimica nel 1954), per la sua straordinaria interpretazione della natura dei legami chimici e della cristallochimica di strutture complesse,

Francis H.C. Crick e James D. Watson (Premi Nobel per la Medicina nel 1962) per la determinazione della struttura tridimensionale del DNA,

Max F. Perutz (Premio Nobel per la Chimica nel 1962) per lo studio strutturale delle proteine globulari,

Dorothy C. Hodgkin (Premio Nobel per la Chimica nel 1964) per la determinazione strutturale di importanti sostanze biochimiche, tra cui penicillina, colesterolo, vitamina B12, insulina,

Herbert A. Hauptman e Jerome Karle (Premi Nobel per la Chimica nel 1985) per il loro apporto agli innovativi metodi diretti, altamente performanti, di determinazione strutturale,

Harold W. Kroto (Premio Nobel per la Chimica nel 1996) per la scoperta dei fullereni e l'apertura al nuovo mondo del carbonio nanostrutturato,

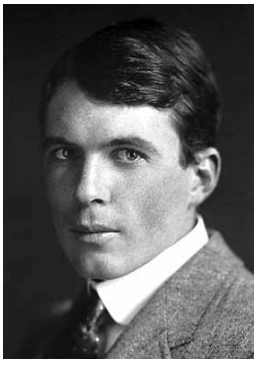
Ada E. Yonath (Premio Nobel per la Chimica nel 2009) per gli studi sulla struttura e la funzione dei ribosomi, ed infine

Dan Shechtman (Premio Nobel per la Chimica nel 2011) per la scoperta dei quasi-cristalli.

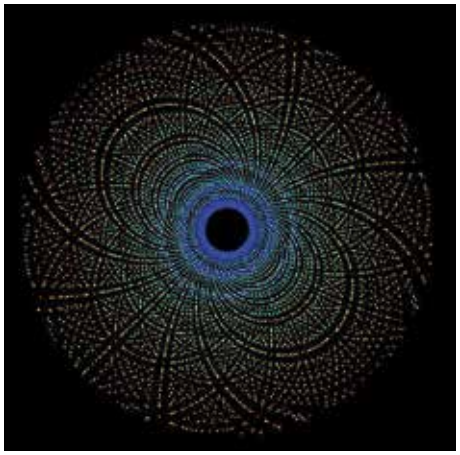
Per rendere giustizia agli innumerevoli ed importanti contributi di scienziati e ricercatori, anche italiani, questa breve sintesi dovrebbe in realtà essere molto più estesa e dettagliata. Nel tentativo di colmare questa lacuna, l'intera celebrazione internazionale del 2014 vuole pertanto rappresentare non solo un tributo ai numerosi cristallografi che, dopo von Laue, hanno reso la Cristallografia una scienza fondamentale, ma anche mostrare le ampie ricadute che le metodologie cristallografiche hanno prodotto, oltre a favorire la comprensione stessa della (talvolta complessa) organizzazione dei solidi. Il successo della Cristallografia [1] è stato reso possibile dallo sviluppo parallelo di tecniche sperimentali (pensiamo all'introduzione della radiazione di sincrotrone e dei fasci di neutroni), dalle aumentate possibilità di calcolo nell'ultimo quarto di secolo e dagli sviluppi teorici nella soluzione del cosiddetto "problema della fase" e nella descrizione di simmetrie complesse (con particolare riguardo alle simmetrie in spazi multidimensionali, utili nella descrizione dei cristalli aperiodici e quasi-periodici [2, 3]).

Molti di noi sono affascinati dai cristalli naturali per la loro bellezza, forma, colore e lucentezza o trasparenza. I cristalli e le gemme sono spesso valorizzati nelle vetrine dei musei, incastonati in scettri e diademi regali o, più semplicemente, adornano gioielli ed ornamenti quotidiani. Ma i cristalli non hanno solo un valore squisitamente estetico. Che noi ce ne rendiamo conto o no, i cristalli sono "ovunque" intorno a noi: ghiaccio, sale, zucchero, aspirina, metalli, plastiche, illuminatori LED, memorie di PC, cellulari e schermi televisivi sono costituiti da materiali cristallini. La Cristallografia, esplorando a livello atomico la struttura dei cristalli rende

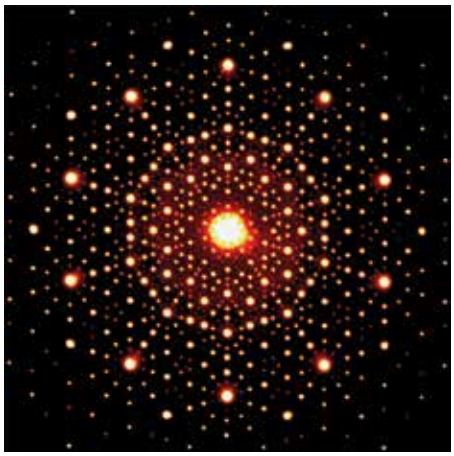
Max von Laue (1879 - 1960).



William Lawrence Bragg (1890 - 1971).



Simulazione di uno spettro di diffrazione da cristallo mediante radiazione policromatica, detta diffrazione di Laue.



Spettro sperimentale di diffrazione elettronica da un quasi cristallo.

I cristalli naturali, quando sono particolarmente ben formati, come questa acquamarina della Namibia, affascinano per la loro estetica e perfezione.

possibile la comprensione della natura stessa della materia, la definizione delle loro proprietà, ed infine la sintesi di specie con nuove ed interessanti applicazioni. Senza la conoscenza strutturale derivata da dati diffrattometrici, non esisterebbero materiali innovativi, non si assisterebbe allo sviluppo di nuovi farmaci, non si comprenderebbero l'attività delle molecole biologiche, la chimica supramolecolare, la mineralogia planetaria e di altissima pressione, l'autoassemblamento dei materiali biomimetici e fotonici, etc.: non è esagerato affermare che la Cristallografia oggi riveste in qualche modo un ruolo fondamentale in diverse attività di ricerca di frontiera.

Vale forse anche la pena ricordare che le conoscenze cristallografiche non sono solo quelle inserite nei programmi informatici di analisi dati, sotto forma di complessi algoritmi di calcolo che utilizzano "tensori" quali descrittori dell'anisotropia delle proprietà chimiche e fisiche della materia [4]. La vasta disponibilità di programmi efficienti e di imponenti banche dati rende la vita dei cristallografi più facile, ma non rende tutti cristallografi. La cultura cristallografica si sviluppa attraverso una rigorosa ed approfondita conoscenza della natura chimico-fisica dello stato solido ed una percezione della complessità dei materiali e delle loro trasformazioni. La rapida scomparsa degli insegnamenti cristallografici di base in molti curricula universitari può rappresentare un problema futuro per tutti i gruppi di ricerca che necessitano di caratterizzazioni strutturali sofisticate. Quale conseguenza, riteniamo che la perdurante difficoltà nel reperimento di giovani ricercatori con adeguate conoscenze cristallografiche, in accademia ed in ambito industriale, oltre che presso le grandi sorgenti di radiazione, sia un segnale preoccupante.

Guardando al futuro, le sfide dichiarate della Cristallografia sono le stesse segnate in agenda dal "Millennium Development Goals" delle Nazioni Unite (`www.un.org/millenniumgoals/`): riduzione della povertà, accesso a cibo ed acqua pulita, sviluppo della salute e transizione verso sorgenti di energia autosostenibili. Lo sforzo è quindi rivolto verso l'estensione delle applicazioni, delle tecniche e delle conoscenze cristallografiche in settori connessi con l'agricoltura, la produzione di cibo, il riciclo dei rifiuti, lo sviluppo di farmaci e di cure per uomini, animali e piante, la produzione di energia sostenibile e la cattura della CO_2. È un dato di fatto che tutte le tecnologie innovative basate su materiali avanzati e molecole per la salute (nano- e bio-tecnologie) sono necessariamente collegate a caratterizzazioni sperimentali di tipo cristallografico. È quindi utile e doveroso che le celebrazioni di IYCr2014 mostrino o ricordino a tutti noi l'importanza presente e futura di questa affascinante, stimolante e impegnativa disciplina.

In ambito nazionale, le celebrazioni di IYCr2014 sono coordinate dall'Associazione Italiana di Cristallografia e coinvolgono molte sedi universitarie ed istituti di ricerca. L'elenco completo delle attività sarà presto disponibile sul sito dell'Associazione: `http://www.cristallografia.org/`. Tra queste, un'ampia mostra di carattere divulgativo sui vari aspetti della Cristallografia storica e moderna, organizzata presso l'Università di Padova nel periodo ottobre 2013 - febbraio 2014 dal titolo "CRISTALLI!"(`www.geoscienze.unipd.it/ cristalli/welcome.html`) sarà resa itinerante ed allestita presso numerose altre sedi, tra cui l'Università dell'Insubria a Como, l'Università di Parma, l'Università della Calabria ad Arcavacata di Rende, l'Università di Modena e Reggio, ed il Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e la Tecnologia dei Materiali a Firenze.

G. Artioli
Università di Padova

N. Masciocchi
Università dell'Insubria, Sede di Como

Una mostra divulgativa dal titolo "CRISTALLI!" sarà visibile in varie città italiane durante l'Anno Internazionale della Cristallografia 2014.

Bibliografia

[1] D. Schwarzenbach, "*The success story of crystallography*", *Acta Cryst.*, A68 (2011) 57.
[2] D. Levine, P.J. Steinhardt, "*Quasicrystals: a new class of ordered crystals*", *Phys. Rev. Lett.*, 53 (1984) 2477.
[3] P.J. Steinhardt, S. Östlund, "*Physics of quasicrystals*" (World Scientific, Singapore) 1987.
[4] C. Giacovazzo (Editor), "*Fundamentals of crystallography*", 3rd Ed. (Oxford University Press) 2011.

GENOVATE
Transforming Organisational Culture for Gender Equality in Research and Innovation

QUESTIONE DI GENERE: GENOVATE, IL PROGETTO EUROPEO CON PARTECIPAZIONE ITALIANA

Si è tenuta a Napoli a inizio estate la presentazione in Italia di GENOVATE, progetto europeo di ricerca-azione finanziato dal 7° Programma Quadro, che mira ad affrontare la questione della disuguaglianza di genere nella ricerca.

L'attenzione per questo tema era stata riconosciuta come decisiva già dall'Agenda di Lisbona del 2000, e la creazione della European Research Area ha sottolineato di fatto il valore strategico dell'uguaglianza di genere nell'area della ricerca e dell'innovazione, affermando che:

- l'eccellenza nella ricerca richiede accessibilità, risorse, e opportunità di avanzamento per i ricercatori migliori, indipendentemente dal genere;
- l'innovazione si arricchisce grazie alle diversità di prospettive e contributi, requisito possibile solo con team di ricerca realmente diversi.

Tuttavia, dati non confortanti che continuano a emergere anche dalla pubblicazione "She Figures 2012" mostrano chiaramente l'esigenza di progetti concreti che colmino le differenze e i divari esistenti.

Il progetto GENOVATE intende attuare strategie innovative per la trasformazione delle strutture organizzative, allo scopo di pervenire a una gestione istituzionale sensibile, efficace e rispettosa delle differenze di genere. Esso si propone di sviluppare le conoscenze necessarie per l'implementazione di strategie locali verso l'uguaglianza di genere in organizzazioni accademiche di diversi paesi d'Europa.

Coordinato e condotto dalla Professoressa Uduak Archibong dell'Università di Bradford, GENOVATE vede coinvolte, oltre a questa, sei altre università europee: University College Cork, Irlanda; Lulea University of Technology, Svezia; Ankara University, Turchia; Trnava University, Slovacchia; Universidad Complutense de Madrid, Spagna e, in Italia, l'Università degli Studi di Napoli "Federico II" (`http://www.genovate.unina.it/`), per la quale è Coordinatrice Nazionale Ofelia Pisanti, Ricercatrice del Dipartimento di Fisica.

Il cuore del progetto è l'attuazione, in sei delle istituzioni partner, di un Gender Equality Actions Plan (GEAP), ovvero un piano di azioni concrete e sostenibili per effettuare cambiamenti culturali e strutturali nelle politiche di genere nella ricerca, nell'università e nell'innovazione (la settima istituzione, l'Universidad Complutense de Madrid, ha il compito di effettuare, durante i quattro anni di vita del progetto, una valutazione continua delle modalità di approccio e dei risultati ottenuti). I partner di GENOVATE sono caratterizzati dall'avere esperienze diverse nell'approccio alla questione di genere; ognuno, dunque, con il supporto di collaboratori e stakeholder, affronterà queste tematiche elaborando un GEAP contestualizzato, costruito dove possibile su strutture e criteri già esistenti, o altrimenti sviluppando nuove pratiche e sistemi. Le aree coperte nei piani di azione includono temi come:

- uguaglianza di genere nel reclutamento, nella progressione di carriera e nel supporto alla ricerca;
- attenzione all'ambiente di lavoro e al cambiamento culturale;
- competenza nell'uguaglianza di genere in questioni come il peer review, la valutazione e i sistemi di innovazione;
- sviluppo di ambienti di lavoro positivi e di una cultura dell'organizzazione competente nelle questioni di genere;
- radicamento di una prospettiva di uguaglianza di genere nell'amministrazione universitaria;
- sviluppo di un modello sociale di implementazione dell'uguaglianza di genere;
- determinazione di benchmark di eccellenza nella ricerca e nell'innovazione attraverso lo scambio di conoscenze e la disseminazione.

L'implementazione dei GEAP continuerà anche dopo la scadenza temporale del progetto, per assicurare uguali opportunità a donne e uomini nell'ambito della ricerca e degli organismi decisionali delle università.

Stakeholder internazionali e nazionali, tra cui la SIF, e un International Advisory Board, coopereranno con i sette attori europei di questo progetto. Questi saranno invitati a partecipare a National Learning Circles e riceveranno regolari resoconti sui progressi conseguiti e copie delle pubblicazioni attraverso un'apposita mailing list.

Il progetto GENOVATE, che ha avuto la sua presentazione ufficiale presso l'Università di Bradford con una Convention internazionale tenutasi a marzo 2013, è nella fase operativa che comprende otto Work Packages (WP). Tre di questi hanno come obiettivo le principali tematiche di intervento del progetto: l'uguaglianza di genere nella vita lavorativa dei ricercatori e delle ricercatrici, dal reclutamento alla progressione della carriera e al supporto nella ricerca (WP3); la consapevolezza sulle questioni di genere e il cambiamento culturale in ambito lavorativo (WP4); la valorizzazione della diversità come fonte di arricchimento nella ricerca e nell'innovazione (WP5). L'Università degli Studi di Napoli "Federico II" è responsabile della realizzazione del WP6: lo scambio della conoscenza all'interno del consorzio e lo sviluppo di "case studies" istituzionali. In questo ambito, il team napoletano ha già realizzato una piattaforma informatica, la GENOVATE Community (`http://www.genovate.unina.it/community/`), che ha lo scopo di rendere possibile ai partner del progetto la condivisione delle informazioni necessarie al lavoro degli otto WP, e la raccolta delle esperienze istituzionali nella realizzazione dei GEAP, che costituirà la base sulla quale verranno realizzati i case studies.

È giusto concludere ricordando che la partecipazione italiana a questo progetto è sì l'inizio di un percorso europeo, ma è anche il riconoscimento di un lungo lavoro svolto negli ultimi anni nell'Università degli Studi di Napoli "Federico II". Da un lato, infatti, grazie all'impegno di alcune Senatrici e Consigliere d'Amministrazione dell'Ateneo, il nuovo statuto dell'università partenopea sancisce che debba essere rispettata la rappresentanza

di genere per un terzo del totale dei membri designati del Consiglio di Amministrazione. Dall'altro, molto è stato fatto in questi anni per dare visibilità alla rappresentanza femminile nella Scienza, in particolare grazie alle attività del Coordinamento Napoletano "Donne nella Scienza", un'associazione nata nel 2007 e costituita da ricercatrici della Federico II e di altri centri di ricerca, tra cui, INFN e CNR, che operano nei campi della Biologia, Chimica, Fisica, Architettura e Ingegneria. Obiettivo dell'associazione è promuovere azioni positive per affrontare il problema della scarsa rappresentanza delle donne nella ricerca e nelle carriere scientifiche, che produce non solo ingiustizia sociale ma anche un notevole spreco di risorse umane.

Sono state queste attività, e l'impegno di coloro che le hanno promosse, a creare quella base di competenze e quella rete necessaria per la partecipazione al progetto europeo GENOVATE.

S. Croci
Università di Parma

Uduak Archibong è Professor of Diversity dell'Università di Bradford (UK). In questa istituzione riveste le cariche di Direttore del Centre for Inclusion and Diversity e di Strategic Lead for Equality and Diversity, con la responsabilità di realizzare il GEAP di Bradford. È stata a capo di numerosi progetti sullo sviluppo di una gestione istituzionale rispettosa delle differenze di genere e coordinatrice di progetti europei, fra cui la recente ricerca su Positive Action Measures condotta nell'Unione Europea, Canada, Stati Uniti e Sud Africa (PAMECUS). Fa parte del comitato editoriale di numerose riviste accademiche e si è fatta paladino dei temi dell'uguaglianza e della diversità.

Ofelia Pisanti è Ricercatrice al Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", dove svolge la sua attività nell'ambito della Cosmologia e della Fisica delle astroparticelle. In questi campi, ha studiato e sviluppato un nuovo codice per il calcolo delle abbondanze nell'universo degli elementi fondamentali ed è autrice di una nuova versione del Monte Carlo, CORSIKA, usato nella comunità dei raggi cosmici per la simulazione degli sciami di particelle in atmosfera. È membro fondatore del Coordinamento Napoletano "Donne nella Scienza", che si occupa da alcuni anni della questione della rappresentanza femminile nella ricerca e nelle carriere scientifiche e, in tale veste, è stata co-organizzatrice di una ormai lunga serie di iniziative in questo ambito.

STRUCTURAL CHANGE IN PROMOTING GENDER EQUALITY IN RESEARCH

On 21-22 November 2013, the International SAPGERIC conference on "*Structural Change Promoting Gender Equality in Research*" took place in Vilnius, Lithuania. The conference was organized by the Vilnius University Institute of Theoretical Physics and Astronomy, under the auspices of the Lithuanian Presidency of the EU Council. The conference focussed on the responsibility of the leadership in European research which should not only be responsible for establishing a gender policy in their research organisations, but also be accountable for the success of that policy according to well-defined metrics. In her key talk, Máire Geoghegan-Quinn, European Commissioner for Research, Innovation and Science, emphasized her commitment to increase the number of women scientists in research in Europe and in academic leadership positions. Applicants for all Horizon2020 programmes will be asked to include in their application as a deliverable the gender-dimension at every phase of their project, in particular their strategy toward gender-balance in the project management and recruitment of scientists for the project.

The importance of visibility and role models was a central theme in almost all presentations. As a practical tool to facilitate this, the German Robert Hart foundation presented its international web-portal AcacdemiaNet with profiles of excellent women academics. Quality is ensured by allowing nominations by partners of AcademiaNet only – typically funding agencies, universities and selected industrial companies. At the conference, I presented the equal opportunity policy of the European Physical Society (EPS). This policy aims indeed at enhancing the visibility of female physicists via role models, for instance with the recently established "Emmy Noether" Distinction for Women in Physics. Next step of EPS is to enhance the number of women in its own organisation by defining charters for equal opportunity with its topical Divisions and interdisciplinar Groups and keeping a keen eye on a balanced composition of its Action Committees.

E. de Wolf
EPS Executive Committee
NIKHEF - University of Amsterdam, The Netherlands

Conference webpage at `http://www.sapgeric.eu2013.vu.lt`
AcademiaNet: `http://www.academia-net.org`
Emmy Noether Distinction: `http://www.eps.org/?page=distinction_prize_en`

INTERVISTA A
GIOVANNI ORGANTINI

Giovanni Organtini è Professore di Fisica Sperimentale alla Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università "Sapienza" di Roma e membro della collaborazione CMS a LHC. Oltre all'attività didattica istituzionale, che svolge nel corso di laurea in Biotecnologie Agro-industriali, nella Scuola di Specializzazione in Fisica Medica e per il TFA in Matematica e Fisica, svolge un'intensa attività di divulgazione scientifica rivolta sia al pubblico generico che agli studenti di liceo. Oltre a centinaia di articoli scientifici, ha pubblicato un libro di testo universitario sulla programmazione dei computer. Ha contribuito alla progettazione e alla costruzione dell'esperimento CMS, in particolare dirigendo le operazioni di certificazione del calorimetro elettromagnetico, con il quale è stato scoperto il bosone di Higgs. Attualmente è responsabile della struttura di calcolo degli esperimenti LHC a Roma, del database per le calibrazioni e del comitato per le pubblicazioni scientifiche dell'esperimento.

Fisicast è un podcast audio pensato per chiunque desideri saperne di più sugli aspetti scientifici di esperienze molto comuni nella vita quotidiana. Ogni puntata di Fisicast affronta un tema di fisica che è spiegato con un linguaggio semplice, senza l'ausilio di formule o di immagini, e fa sempre riferimento a esperienze molto comuni nella vita di chiunque, anche quando il tema scelto riguarda argomenti considerati ostici, come la Meccanica Quantistica e Relativistica, la Fisica delle Particelle, etc.. L'obiettivo di Fisicast è quello di contribuire a una maggiore diffusione del metodo scientifico attraverso l'illustrazione dei processi che stanno alla base del funzionamento di molti oggetti d'uso comune, stimolando la curiosità degli ascoltatori.
`http://www.fisicast.it`

FISICAST: UN NUOVO MODELLO PER LA DIVULGAZIONE DELLA SCIENZA

Professor Organtini, ci dice cos'è Fisicast?
Fisicast è una scommessa che abbiamo lanciato, ormai da oltre un anno e mezzo, con Gianluca Li Causi, ricercatore dell'INAF, e Riccardo Faccini, Professore di Fisica alla "Sapienza" di Roma. Quello che facciamo è spiegare la fisica ai non esperti "raccontandola".
In che consiste la scommessa?
A molti di noi capita spesso di trovarsi in pizzeria o al bar con amici curiosi, che approfittano della nostra conoscenza per fare qualche domanda e capire di più. Può immaginare quante volte mi sia sentito rivolgere domande sul bosone di Higgs in questi giorni! In quei casi non si può rispondere facendo una lezione di fisica; occorre provare a spiegare i concetti chiave utilizzando solo la voce; al più aiutandosi con i gesti. Ecco: abbiamo voluto estendere le nostre chiacchierate a un pubblico più vasto. La scommessa consiste nel riuscire a spiegare, in modalità puramente audio, senza neanche l'aiuto della gestualità, fenomeni che altri canali spesso si limitano a descrivere più con l'obiettivo di stupire che con quello di far comprendere.
Ci sono vantaggi rispetto ai canali più tradizionali?
Un podcast si può ascoltare ovunque e in qualunque momento: facendo footing o prendendo il sole sulla spiaggia, nel traffico o in attesa dal dentista. Non si può leggere un libro o navigare su Internet correndo o guidando.
E funziona?
A giudicare dai numeri direi di sì. Nel solo primo anno di produzione (rilasciamo una puntata al mese), senza una vera promozione, sfruttando solo il passaparola, le puntate di Fisicast sono state scaricate oltre 35 mila volte. Significa che abbiamo una media di 3000 ascoltatori per puntata.
Come riuscite a raggiungere l'obiettivo? A prima vista si direbbe che non sia facile spiegare la fisica senza l'ausilio di immagini e di un po' di matematica.
In effetti è molto difficile. Ogni puntata parte con un'idea lanciata da uno di noi, che propone un tema e lo sviluppa facendo sempre riferimento a esperienze comuni. È sorprendente quanta fisica ci sia nel quotidiano. Quasi sempre il formato della puntata è nella forma di dialogo tra due persone: una curiosa e l'altra esperta. L'autore scrive una sorta di sceneggiatura che passa agli altri perché la rivedano. Questo è un processo lungo e complicato: ci si fanno le pulci a vicenda e si sottolineano tutte le imprecisioni e le incongruenze inevitabilmente presenti nella prima stesura. Tipicamente si riesce a convergere su un testo condiviso nel giro di due o tre iterazioni. A questo punto il testo viene dato a uno o più "lettori": persone di nostra fiducia che non hanno alcuna conoscenza specifica (pensionati, insegnanti di scuola primaria, commercianti, etc.). I lettori ci forniscono le loro opinioni, che spesso portano a rivedere profondamente alcune spiegazioni. Solo quando anche i lettori sono soddisfatti si passa alla registrazione. Bisogna essere molto affiatati per non irritarsi per le critiche feroci che ci facciamo a vicenda.
Vi aiuta qualcuno in questa fase?
Sì, da soli non ce la faremmo. Tutti su base volontaria, naturalmente. Per la registrazione Radio Sapienza ci fornisce l'infrastruttura. Chiara Piselli dà voce ai nostri interlocutori, Antonella Bartoli, Chiara Crociata, Carlo Mancini e Edoardo Massaro ci danno una mano con la post-produzione. Radio Scienza, poi , ospita le nostre puntate sul suo sito.
Ha detto Radio Scienza?
Sì. Si tratta di un sito web che ospita diverse iniziative a carattere scientifico. Il dominio è stato registrato qualche anno fa da Giovanni Mazzitelli dell'INFN e rappresenta un canale d'informazione importante. È anche grazie al fatto che il sito era abbastanza noto che abbiamo avuto il successo di cui parlavo.
Avete qualche riscontro dal vostro pubblico?
Non abbiamo le forze per fare vere indagini statistiche sul gradimento e la composizione del nostro pubblico. Dal numero costante di download si direbbe che abbiamo un pubblico fedele, che dunque apprezza. Dai commenti che riceviamo si capisce che il pubblico è molto variegato: va dallo studente di liceo all'allevatore di bestiame.
Riceverete anche qualche critica...
Beninteso. La critica più dura riguarda la nostra abilità declamatoria. Non siamo certo attori professionisti e spesso si sente che il tono del colloquio non è così spontaneo. Ma ci stiamo lavorando.

S. De Pasquale
Università di Salerno

RECENSIONI

K. H. Bennemann and J. B. Ketterson (Editors)

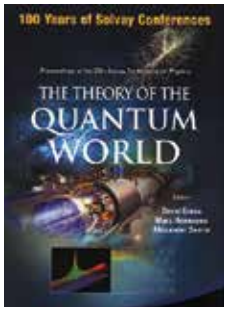
Novel Superfluids
Vol.1

Oxford University Press, U. K., 2013

pp. XV + 624, £ 125

Recensione di
J. P. Toennies

Pubblicata online
3 settembre 2013



D. Gross, M. Henneaux and A. Sevrin (Editors)

The Theory of the Quantum World
Proceedings of the
25th Solvay Conference on Physics

World Scientific, Singapore, 2013

pp. XXIII + 362, $ 48.00, £ 32.00

Recensione di
V. Celli

Pubblicata online
6 settembre 2013

V. Stefanov Gerdjikov, G. Vilasi and A. Borissov Yanovski (Editors)

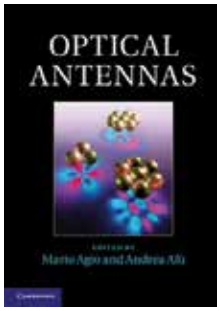
Integrable Hamiltonian Hierarchies
Spectral and Geometric Methods

Lecture Notes in Physics, 748
Springer, Berlin, 2008

pp. XII + 643, £72.12

Recensione di
A. Yoshioka

Pubblicata online
27 settembre 2013



M. Agio and A. Alù (Editors)

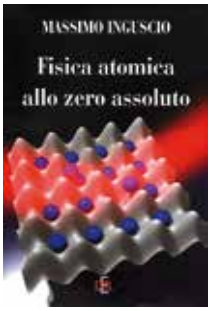
Optical Antennas

Cambridge University Press,
Cambridge, 2013

pp. 453, £85.00

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
5 novembre 2013



M. Inguscio

Fisica atomica allo zero assoluto

Dialoghi Scienza. Di Renzo Editore,
2012

pp. 69, € 12.00

Recensione di
L. Belloni

Pubblicata online
6 novembre 2013

S. Roncoroni

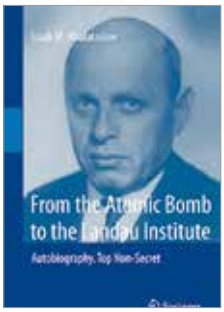
Ettore Majorana, lo scomparso
e la decisione irrevocabile

Editori Internazionali Riuniti, 2013

pp. 416, € 18

Recensione di
F. Guerra,
N. Robotti

Pubblicata online
19 novembre 2013



I. M. Khalatnikov

From the Atomic Bomb to the
Landau Institute
Autobiography. Top Non-secret

Springer, Berlin, 2012

pp. 214, € 51,95

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
27 novembre 2013

J. V. José (Editor)

40 Years of
Berezinskii-Kosterlitz-Thouless Theory

World Scientific, Singapore, 2013

pp. XII + 351; £ 25.00

Recensione di
G. Benedek

Pubblicata online
16 dicembre 2013

S.M. Bilenky, T.D. Blokhintseva, L. Cifarelli, V.A. Matveev, I.G. Pokrovskaya and M.G. Sapozhnikov (Editors)

Bruno Pontecorvo Selected Scientific Works
Recollections on Bruno Pontecorvo
Second edition

SIF, Bologna, 2013

pp. 720, € 70,00

The book under review was published by the Italian Physical Society (Societa Italiana di Fisica, SIF) to celebrate the centennial anniversary of the birth of a great scientist and man of the XX century – Bruno Pontecorvo, who has made an extraordinary contribution to different fields of Nuclear and Particle Physics and whose scientific intuition and human principles are difficult to overestimate.
It is a second edition of Bruno Pontecorvo selected scientific works and recollections of different people. Compared to the first edition, published in 1997 on the occasion of the SIF centenary (1897-1997), the book contains significant additional material, such as a complete bibliography, new photos, personal documents and new special contributions and recollections.
The section of scientific works in the book remains unchanged compared to the first edition. The papers for this section were already carefully selected on the basis of their importance for the present-day physics. The section is organized in a chronological order which also gives the advantage of tracing the evolution of scientific interests and development of ideas of this great physicist with a very wide scientific scope. In this section the reader may also find especially interesting articles written by Pontecorvo on the history of science, his personal recollections about Enrico Fermi and the autobiography, in which the honest and intellectual spirit of Bruno Pontecorvo becomes evident.
A significant part of the book is devoted to the recollections on Bruno Pontecorvo written by people, who met him in different periods of his life, in different countries and on different occasions. They were his friends, coauthors, colleagues, pupils. Their articles are very different and describe general and particular things about Bruno Pontecorvo, but it is interesting to see their common feeling of great love and respect for this extraordinary man.
The book also contains numerous documental and photographic materials about Bruno Pontecorvo and his family. These photos create an evocative atmosphere for the reader and give a good flavor of the different scientific, cultural, pedagogical, sportive and other aspects of his life.
The longest period of the life of Bruno Pontecorvo (from 1950 till 1993) was connected to the town of Dubna, Moscow region, and his work at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR). The study of Bruno Pontecorvo at this Institute is kept unchanged since his times. To commemorate this important place for the progress and history of science the European Physical Society (EPS) has established a new EPS Historic Site at JINR. The photo of the memorial plaque at the entrance of Bruno Pontecorvo's study at JINR and a short description of the unveiling ceremony which took place on 22 February 2013 was also included in the new edition of the book.
In conclusion, the book contains significant material about the life and scientific, human and cultural heritage of a great scientist and man – Bruno Pontecorvo. The material in the book is well selected and organized. It will be very interesting and useful for a wide range of readers: scientists, students, biographists and people interested in the history of science.

A. Olshevskiy
JINR, Dubna

I volumi pubblicati dalla Società Italiana di Fisica possono essere ordinati utilizzando il buono d'ordine disponibile al seguente indirizzo: www.sif.it/libri/ordini
I soci usufruiscono di uno sconto del 30% sull'acquisto di questo volume.

IN RICORDO DI

Elena Sassi

San Martino in Pensilis (CB),
27 marzo 1939 -
Genova, 24 settembre 2013

Rosa Maria Sperandeo Mineo
Marisa Michelini

Pubblicato online
21 ottobre 2013

Romeo Bassoli

Sesto San Giovanni (MI),
20 giugno 1954 -
Roma, 16 ottobre 2013

Pier Andrea Mandò

Pubblicato online
6 novembre 2013

IN EVIDENZA

NOVITÀ SULL'ACCELERAZIONE LASER IN UN DIELETTRICO

Un'onda elettromagnetica in un mezzo omogeneo ed isotropo non può produrre accelerazione netta su particelle cariche. L'accelerzione si può ottenere progettando microstrutture dielettriche in modo che il fascio si trovi per un tempo maggiore in un segno del campo elettrico, rispetto a quello opposto. Due articoli sono usciti recentemente:

J. Breuer e P. Hommenholf, *Laser-based acceleration of nonreltivistic electrons in a dielectric structure*. arXiv: 1308464; 2 Aug. 2013

A proof-of-principle experiment demonstrating dielectric laser acceleration of non-relativistic electrons in the vicinity of a fused-silica grating is reported. The grating structure is utilized to generate an electromagnetic surface wave that travels synchronously with and efficiently imparts momentum on 28 keV electrons. We observe a maximum acceleration gradient of 25 MeV/m.

E. A. Peralta *et al., Demonstration of electron acceleration in a laser-driven dielectric microstructure*. Nature, 503 (2013) 91

Micro-fabricated dielectric laser accelerators (DLAs) are an attractive approach, because such dielectric microstructures can support accelerating fields one to two orders of magnitude higher than can radio-frequency cavity-based accelerators. DLAs use commercial lasers as a power source, which are smaller and less expensive than the radio-frequency klystrons that power today's accelerators. In addition, DLAs are fabricated via low cost lithographic techniques that can be used for mass production. Here we report high-gradient (beyond 250 MeV/m) acceleration of electrons in a DLA.

Credit: SLAC National Accelerator Laboratory, photo: Brad Plummer.

INVERTENDO IL TEMPO

Un anno fa veniva pubblicata la prima osservazione di violazione della simmetria sotto inversione temporale dall'esperimento BABAR al collisore e^+e^- di SLAC. Sappiamo che le interazioni deboli violano CP (coniugazione particella antiparticella e inversione degli assi) e che un teorema molto generale stabilisce che tutte le interazioni debbano essere invarianti sotto CPT e qunidi, la violazione di CP "deve" implicare quella della time reversal T. Ma ne mancava la verifica sperimentale. Per farlo, bisogna confrontare due processi che si ottengano uno dall'altro rovesciando il segno del tempo. Ma non è banale, perché quasi sempre i due casi si trasformano l'uno nell'altro anche applicando CP. Esempi di non ambigua trasformazione sotto T sono stati proposti da M. C. Bañuls e J. Bernabeu, Phys. Lett. B 464 (1999) 117 e Nucl. Phys. B 590 (2000) 19. Il trucco è di lavorare ad un collisore e^+e^- nel quale lo stato iniziale ha CP definita. Un'unica funzione d'onda descrive la coppia così prodotta e di conseguenza i numeri quantici dei due stati finali dopo i decadimenti sono completamente correlati. Questo permette di selezionare processi genuinamente time reversed uno dell'altro.

The BABAR Collaboration, J.P. Lees *et al., Observation of Time-Reversal Violation in the B^0 Meson System*. Physical Review Letters 109 (2012) 211801

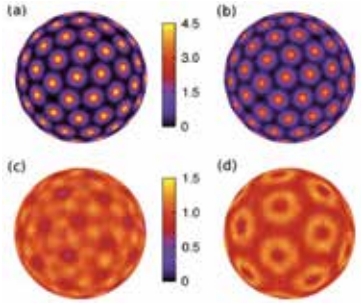
Although *CP* violation in the *B* meson system has been well established by the *B* factories, there has been no direct observation of time-reversal violation. The decays of entangled neutral *B* mesons into definite flavor states (B^0 or $\bar{B}^0$), and $J/\psi K^0_L$ or $c\bar{c}\,K^0_S$ [*che hanno CP* = + e – , *rispettivamente*] allow comparisons between the probabilities of four pairs of *T*-conjugated transitions, for example, $\bar{B}^0 \to B$ ($CP = -$) and B ($CP = -$) $\to \bar{B}^0$, as a function of the time difference between the two *B* decays [*La freccia indica il verso del tempo*]. [*Mentre applicando CP al primo processo si sarebbe ottenuto $B^0 \to B$ ($CP = +$) e analogamente per il secondo*]. Using 468 10^6 $B^0\bar{B}^0$ pairs decays collected by the BABAR detector at SLAC, we measure *T*-violating parameters in the time evolution of neutral *B* mesons… These nonzero results represent the first direct observation of *T* violation through the exchange of initial and final states in transitions that can only be connected by a *T*-symmetry transformation.

CRISTALLI DI WIGNER

I cristalli di Wigner si possono formare quando l'energia d'interazione tra elettroni domina sulla loro energia potenziale. Gli autori li hanno realizzati forzando gli elettroni in due dimensioni con intensi campi magnetici.

A. C. Archer, K. Park and J. K. Jain, *Competing Crystal Phases in the Lowest Landau Level*. Physical Review Letters, 111 (2013) 146804

We show that the solid phase between the 1/5 and 2/9 fractional quantum Hall states arises from an extremely delicate interplay between type-1 and type-2 composite fermion crystals, clearly demonstrating its nontrivial, strongly correlated character. We also compute the phase diagram of various crystals occurring over a wide range of filling factors and demonstrate that the elastic constants exhibit non-monotonic behavior as a function of the filling factor, possibly leading to distinctive experimental signatures that can help mark the phase boundaries separating different kinds of crystals.



Reproduced with permission of the American Physical Society ©APS, 2013, from prl.aps.org/abstract/PRL/v111/i14/e146804 .

UN NUOVO LIMITE SULL'EMIVITA DI DECADIMENTO DOPPIO BETA SENZA NEUTRINI (0v2β) DAL LABORATORIO INFN DEL GRAN SASSO

Ancora non sappiamo se il neutrino sia una particella di Dirac, come l'elettrone, o di Majorana, nel qual caso sarebbe antiparticella di se stesso. Il modo per indagarlo è la ricerca del decadimento 0v2β. L'esperimento GERDA ha realizzato condizioni di fondo senza precedenti e ottenuto un nuovo limite inferiore, che, tra l'altro, contrasta con alto significato statistico una precedente affermazione positiva pubblicata da altri.

M. Agostini *et al., Results on Neutrinoless Double-β Decay of ^{76}Ge from Phase I of the GERDA Experiment*. Physical Review Letters, 111 (2013) 122503

This letter reports the results from phase I of the Germanium Detector Array (GERDA) experiment at the Gran Sasso Laboratory (Italy) searching for neutrinoless double beta decay of the isotope ^{76}Ge. Data considered in the present analysis have been collected between November 2011 and May 2013 with a total exposure of 21.6 kg yr. A blind analysis is performed. The background index is about 1×10^{-2} counts/(keV kg yr) after pulse shape discrimination. No signal is observed and a lower limit is derived for the half-life of neutrinoless double beta decay of ^{76}Ge, $T^{0\nu}_{1/2} > 2.1 \times 10^{25}$ yr (90% C.L.). The combination with the results from the previous experiments with ^{76}Ge yields $T^{0\nu}_{1/2} > 3.0 \times 10^{25}$ yr (90% C.L.).

a cura di Alessandro Bettini

http://www.geoscienze.unipd.it/cristalli/welcome.html

http://www.associazioneaiar.com/cms/content/scuola-envimat

11th INTERNATIONAL SPRING SEMINAR ON NUCLEAR PHYSICS

SHELL MODEL AND NUCLEAR STRUCTURE: achievements of the past two decades

ISCHIA, MAY 12-16, 2014

http://ischia2014.na.infn.it/index.php

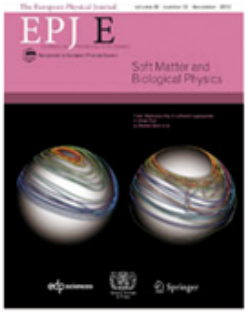
INFN

EPJ E

Soft Matter and Biological Physics

Open Call for Papers

EPJ E Topical Issue: Thermal non-equilibrium phenomena in multi- component fluids



Under thermal non-equilibrium conditions, multi-component fluids generally undergo component separation. This is termed *thermodiffusion* in molecular liquids, and *thermophoresis* in colloidal fluids. The precise physical principles underlying these phenomena are still not understood, and it is envisaged that a continuous flow of ideas between theoreticians, experimental scientists and researchers employing numerical methods is needed to achieve a deeper understanding. In order to provide an overview of the more recent advances in this intriguing area, the European Physical Journal E Soft Matter and Biological Physics is in the process of preparing a special issue on physical systems outside thermal equilibrium.

We are currently accepting submissions for this special issue, and invite you to submit papers for consideration to the Editorial Office of EPJE **https://articlestatus.edpsciences.org/is/epje** (or by email to epje@edpsciences.org). Submissions should be clearly identified as intended for the Topical Issue "Thermal non-equilibrium phenomena in multi-component fluids", and marked for the attention of Fabrizio Croccolo and Henri Bataller (Guest Editors).

Please note that all contributions must be received no later than 30 June 2014.

INDICI DEL VOLUME 29

INDICE PER FASCICOLI

Numero 1/2, 2013

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
Circumnavigating an ocean of incompressible light
I. Carusotto 5
De ubiquitate mentis: GIASONE modello cibernetico di processi mentali
M. L. Bargellini 17
Particle accelerators and solar panels
C. Benvenuti 31
Concentrated photovoltaic: a complementary promising technology for solar cells
P. Antonini, S. Centro, S. Golfetto, A. Saccà 39
Tribute to Bruno Pontecorvo
A. Bettini, L. Cifarelli 51
Torino-Dubna Amarcord (Vospominanija)
G. Piragino 56
Programma della Scuola estiva "Enrico Fermi" di Varenna 59
International Simposyum Passion for Physics 64
99° Congresso Nazionale della Società di Fisica: Informazioni generali 65
Bandi dei concorsi a premi della SIF 69
La Società Italiana di Luce di Sincrotrone - SILS
F. Boscherini 74
Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa
A. Bettini 78
EPJ compie 15 anni
C. Caron, A. Oleandri 79
La Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi" della SIF: 60 anni di successo
L. Cifarelli, A. Oleandri 81
Donne nella Scienza: carriera e pregiudizio di genere
S. Croci 82
Recensioni (*) 84
In ricordo di (*)
Giuliana Tommei (A. C. Levi) 85
Roberto Pettorino (F. Nicodemi) 85
In evidenza (A. Bettini) 86
Annunci 89

Numero 3/4, 2013

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
In memoria di Vincenzo Grasso, Sergio Focardi
A. Stella, A. Zingales, L. Cifarelli, R. A. Ricci 4
"Divide et impera" in detector technology
L. Miglio, R. Bergamaschini, A. Marzegalli, F. Isa, D. Chrastina, G. Isella, P. Niedermann, A. Dommann, C. V. Falub, E. Müller, H. von Känel 7
Una nuova luce per illuminare suoni antichi
N. Sodini, F. Zanini 15
Cento anni fa, con la teoria di Bohr, la genesi dell'atomo
A. Pascolini 22
99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica Programma Generale 33
ALBA, the Spanish Light Source
C. Biscari, S. Ferrer, G. García, I. Ramos 36
Jefferson Lab: a journey from quarks to matter and beyond
P. Rossi 42
The Union of the Czech Mathematicians and Physicists and the Czech Physical Society
A. Valkarova 50
Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa
A. Bettini 52
La Scuola di Formazione del Personale addetto alla gestione degli enti pubblici di ricerca
L. Majorani 53
Passion for Physics
A. Oleandri 54
Recensioni (*) 55
In ricordo di (*)
Luigi Vannucci (R. A. Ricci) 56
Franco Romano (S. Nuzzo) 56
Mauro Francaviglia (S. Capozziello) 56
In evidenza (A. Bettini) 57
Annunci 58

Numero 5/6, 2013

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
Simulating quantum physics by integrated photonic circuits in detector technology
L. Sansoni, N. Spagnolo, C. Vitelli, F. Sciarrino, P. Mataloni 5
Semiconductor nanodevices: facing the fascinating world of quantum mechanics
R. C. Iotti, F. Rossi 17
L'universo quasi perfetto di Planck
P. de Bernardis, M. Bersanelli 25
Alfred Nobel and the Nobel Prizes
B. Jonson 37
The new birth of radiology – More than one century after Röntgen
G. Margaritondo, Y. Hwu 45
Cerimonia Inaugurale 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica 59
L'arte aiuta la scienza e la scienza ispira l'arte
C. Bradaschia 73
Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa
A. Bettini 76
The Italian Physical Society "Enrico Fermi" Prize and Medal 2013
A. Bettini 78
SIF-IOP "Giuseppe Occhialini" Prize and Medal 2013
A. Bettini 80
Il Premio Nobel per la Fisica 2013
A. Bettini 81
Anno Internazionale della Cristallografia – 2014: cent'anni di diffrazione
G. Artioli, N. Masciocchi 85
Questione di genere: GENOVATE, il progetto europeo con partecipazione italiana
S. Croci 87
Structural Change in Promoting Gender Equality in Research
E. de Wolf 88
Intervista a Giovanni Organtini
S. De Pasquale 89
Recensioni (*) 90
In ricordo di (*)
Elena Sassi (R. M. Sperandeo Mineo, M. Michelini) 91
Romeo Bassoli (P. A. Mandò) 91
In evidenza (A. Bettini) 92
Annunci 93
Indice volume 29 95

INDICE PER AUTORI

A
Antonini P., Centro S., Golfetto S., Saccà A.
Concentrated photovoltaic: a complementary promising technology for solar cells 29:1/2, 39
Artioli G., Masciocchi N.
Anno Internazionale della Cristallografia – 2014: cent'anni di diffrazione 29:5/6, 85

B
Bargellini M. L.
De ubiquitate mentis: GIASONE modello cibernetico di processi mentali 29:1/2, 17
Benvenuti C.
Particle accelerators and solar panels 29:1/2, 31
Bergamaschini R. (vedi Miglio L.)
Bersanelli M. (vedi de Bernardis P.)
Bettini A.
The Italian Physical Society "Enrico Fermi" Prize and Medal 2013 29:5/6, 78
Bettini A.
SIF-IOP "Giuseppe Occhialini" Prize and Medal 2013 29:5/6, 80
Bettini A.
Il Premio Nobel per la Fisica 2013 29:5/6, 81
Bettini A., Cifarelli L.
Tribute to Bruno Pontecorvo 29:1/2, 51
Biscari C., Ferrer S., García G., Ramos I.
ALBA, the Spanish Light Source 29:3/4, 36
Bradaschia C.
L'arte aiuta la scienza e la scienza ispira l'arte 29:5/6, 73
Boscherini F.
La Società Italiana di Luce di Sincrotrone - SILS 29:1/2, 74

C
Capozziello S.
In ricordo di (*) *Mauro Francaviglia* 29:3/4, 56
Caron C., Oleandri A.
EPJ compie 15 anni 29:1/2, 79
Carusotto I.
Circumnavigating an ocean of incompressible light 29:1/2, 5
Centro S. (vedi Antonini P.)
Chrastina D. (vedi Miglio L.)
Cifarelli L. (vedi Bettini A.)
Cifarelli L. (vedi Stella A.)
Cifarelli L., Oleandri A.
La Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi" della SIF: 60 anni di successo 29:1/2, 81
Croci S.
Donne nella Scienza: carriera e pregiudizio di genere 29:1/2, 82
Croci S.
Questione di genere: GENOVATE, il progetto europeo con partecipazione italiana 29:5/6, 87

D
de Bernardis P., Bersanelli M.
L'universo quasi perfetto di Planck 29:5/6, 25
De Pasquale S.
Intervista a Giovanni Organtini 29:5/6, 89
de Wolf E.
Structural Change in Promoting Gender Equality in Research 29:5/6, 88
Dommann A.(vedi Miglio L.)

F
Falub C. V. (vedi Miglio L.)
Ferrer S. (vedi Biscari C.)

G
García G. (vedi Biscari C.)
Golfetto S. (vedi Antonini P.)

H
Hwu Y. (vedi Margaritondo G.)

I
Iotti R. C., Rossi F.
Semiconductor nanodevices: facing the fascinating world of quantum mechanics 29:5/6, 17
Isa F. (vedi Miglio L.)
Isella G. (vedi Miglio L.)

J
Jonson B.
Alfred Nobel and the Nobel Prizes 29:5/6, 37

L
Levi A. C.
In ricordo di (*) *Giuliana Tommei* 29:1/2, 85

M
Majorani L.
La Scuola di Formazione del Personale addetto alla gestione degli enti pubblici di ricerca 29:3/4, 53
Mandò P. A.
In ricordo di (*) *Romeo Bassoli* 29:5/6, 91
Marzegalli A. (vedi Miglio L.)
Mataloni P. (vedi Sansoni L.)
Margaritondo G., Hwu Y.
The new birth of radiology – More than one century after Röntgen 29:5/6, 45
Masciocchi N. (vedi Artioli G.)
Michelini M. (vedi Sperandeo Mineo R. M.)
Miglio L., Bergamaschini R., Marzegalli A., Isa F., Chrastina D., Isella G., Niedermann P., Dommann A., Falub C. V., Müller E., von Känel H.
"Divide et impera" in detector technology 29:3/4, 7
Müller E. (vedi Miglio L.)

N
Nicodemi F.
In ricordo di (*) *Roberto Pettorino* 29:1/2, 85
Niedermann P. (vedi Miglio L.)
Nuzzo S.
In ricordo di (*) *Franco Romano* 29:3/4, 56

O
Oleandri A. (vedi Caron C.)
Oleandri A. (vedi Cifarelli L.)
Oleandri A.
Passion for Physics 29:3/4, 54

P
Pascolini A.
Cento anni fa, con la teoria di Bohr, la genesi dell'atomo 29:3/4, 22
Piragino G.
Torino-Dubna Amarcord (Vospominanija) 29:1/2, 56

R
Ramos I. (vedi Biscari C.)
Ricci R. A.
In memoria di Sergio Focardi 29:3/4, 5
Ricci R. A.
In ricordo di (*) *Luigi Vannucci* 29:3/4, 56

Rossi P.
Jefferson Lab: a journey from quarks to matter and beyond 29:3/4, 42
Rossi F. (vedi Iotti R. C.)

S
Saccà A. (vedi Antonini P.)
Sansoni L., Spagnolo N., Vitelli C. , Sciarrino F., Mataloni P.
Simulating quantum physics by integrated photonic circuits in detector technology 29:5/6, 5
Sciarrino F. (vedi Sansoni L.)
Sodini N., Zanini F.
Una nuova luce per illuminare suoni antichi 29:3/4, 15
Spagnolo N. (vedi Sansoni L.)
Sperandeo Mineo R. M., Michelini M.
In ricordo di (*) *Elena Sassi* 29:5/6, 91
Stella A., Zingales A., Cifarelli L.
In memoria di Vincenzo Grasso 29:3/4, 4

V
Valkarova A.
The Union of the Czech Mathematicians and Physicists and the Czech Physical Society 29:3/4, 50
von Känel H. (vedi Miglio L.)
Vitelli C. (vedi Sansoni L.)

Z
Zanini F. (vedi Sodini N.)
Zingales A. (vedi Stella A.)

INDICE PER RUBRICHE

SCIENZA IN PRIMO PIANO

Circumnavigating an ocean of incompressible light
I. Carusotto 29:1/2, 5
De ubiquitate mentis: GIASONE modello cibernetico di processi mentali
M. L. Bargellini 29:1/2, 17
"Divide et impera" in detector technology
L. Miglio, R. Bergamaschini, A. Marzegalli, F. Isa, D. Chrastina, G. Isella, P. Niedermann, A. Dommann, C. V. Falub, E. Müller, H. von Känel 29:3/4, 7
Simulating quantum physics by integrated photonic circuits in detector technology
L. Sansoni, N. Spagnolo, C. Vitelli, F. Sciarrino, P. Mataloni 29:5/6, 5
Semiconductor nanodevices: facing the fascinating world of quantum mechanics
R. C. Iotti, F. Rossi 29:5/6, 17

FISICA E...

Concentrated photovoltaic: a complementary promising technology for solar cells
P. Antonini, S. Centro, S. Golfetto, A. Saccà 29:1/2, 39
L'universo quasi perfetto di Planck
P. de Bernardis, M. Bersanelli 29:5/6, 25
Particle accelerators and solar panels
C. Benvenuti 29:1/2, 31
Una nuova luce per illuminare suoni antichi
N. Sodini, F. Zanini 29:3/4, 15

PERCORSI

Alfred Nobel and the Nobel Prizes
B. Jonson 29:5/6, 37
Cento anni fa, con la teoria di Bohr, la genesi dell'atomo
A. Pascolini 29:3/4, 22
The new birth of radiology – More than one century after Röntgen
G. Margaritondo, Y. Hwu 29:5/6, 45
Torino-Dubna Amarcord (Vospominanija)
G. Piragino 29:1/2, 56
Tribute to Bruno Pontecorvo
A. Bettini, L. Cifarelli 29:1/2, 51

IL NOSTRO MONDO

ALBA, the Spanish Light Source
C. Biscari, S. Ferrer, G. García, I. Ramos 29:3/4, 36
Jefferson Lab: a journey from quarks to matter and beyond
P. Rossi 29:3/4, 42
L'arte aiuta la scienza e la scienza ispira l'arte
C. Bradaschia 29:5/6, 73
La Società Italiana di Luce di Sincrotrone - SILS
F. Boscherini 29:1/2, 74
The Union of the Czech Mathematicians and Physicists and the Czech Physical Society
A. Valkarova 29:3/4, 50

Scuole e Congressi SIF

Programma della Scuola estiva "Enrico Fermi" di Varenna 29:1/2, 59
International Simposyum Passion for Physics 29:1/2, 64
99° Congresso Nazionale della Società di Fisica: Informazioni generali 29:1/2, 65
Bandi dei concorsi a premi della SIF 29:1/2, 69
99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica Programma Generale 29:3/4, 33
Cerimonia Inaugurale 99° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica 29:5/6, 59

Il Nuovo Cimento 150, 100, 50 anni fa
A. Bettini 29:1/2, 78
29:3/4, 52
29:5/6, 76

News

Anno Internazionale della Cristallografia – 2014: cent'anni di diffrazione
G. Artioli, N. Masciocchi 29:5/6, 85
Donne nella Scienza: carriera e pregiudizio di genere
S. Croci 29:1/2, 82
EPJ compie 15 anni
C. Caron, A. Oleandri 29:1/2, 79
Il Premio Nobel per la Fisica 2013
A. Bettini 29:5/6, 81
La Scuola di Formazione del Personale addetto alla gestione degli enti pubblici di ricerca
L. Majorani 29:3/4, 53
La Scuola Internazionale di Fisica "E. Fermi" della SIF: 60 anni di successo
L. Cifarelli, A. Oleandri 29:1/2, 81
Passion for Physics
A. Oleandri 29:3/4, 54
Questione di genere: GENOVATE, il progetto europeo con partecipazione italiana
S. Croci 29:5/6, 87
SIF-IOP "Giuseppe Occhialini" Prize and Medal 2013
A. Bettini 29:5/6, 80
Structural Change in Promoting Gender Equality in Research
E. de Wolf 29:5/6, 88
The Italian Physical Society "Enrico Fermi" Prize and Medal 2013
A. Bettini 29:5/6, 78

Intervista a
Giovanni Organtini
S. De Pasquale 29:5/6, 89

In ricordo di (*)
Giuliana Tommei
A. C. Levi 29:1/2, 85
Roberto Pettorino
F. Nicodemi 29:1/2, 85
Luigi Vannucci
R. A. Ricci 29:3/4, 56
Franco Romano
S. Nuzzo 29:3/4, 56
Mauro Francaviglia
S. Capozziello 29:3/4, 56
Elena Sassi
R. M. Sperandeo Mineo, M. Michelini 29:5/6, 91
Romeo Bassoli
P. A. Mandò 29:5/6, 91
In memoria di Vincenzo Grasso, Sergio Focardi
A. Stella, A. Zingales, L. Cifarelli, R. A. Ricci 29:3/4, 4

RECENSIONI (*)

A Cultural History of Physics, K. Simonyi
recensito da A. A. Lucas 29:1/2, 84
Advances in Atomic Physics, C. Cohen-Tannoudji, D. Guéry-Odelin
recensito da M. Bernasconi 29:1/2, 85
Alchimie nell'arte, A. Zecchina
recensito da G. Benedek 29:1/2, 84
Annual Review of Cold Atoms and Molecules, Vol. 1,
K. W. Madison, Y. Wang, A. M. Rey, K. Bongs
recensito da G. Benedek 29:3/4, 56
Atoms in Intense Laser Fields, C. J. Joachain, N. J. Kylstra,
R. M. Potvliege
recensito da D. Batani 29:3/4, 55
Bruno Pontecorvo Select ed Scientific Works - Recollections on Bruno Pontecorvo - Second edition,
S. M. Bilenky, T. D. Blokhintseva, L. Cifarelli, V. A. Matveev,
I. G. Pokrovskaya and M. G. Sapozhnikov (Editors)
recensito da A. Olshevskiy 29:5/6, 91
Capire davvero la relatività, D. F. Styer
recensito da M. Gasperini 29:1/2, 84
Cosmology and motion: Galileo, Descartes, Gassendi,
M. Clavelin, J. Heilbron, I. Pantin
recensito da G. Benedek 29:1/2, 84
Ettore Majorana, lo scomparso, S. Roncoroni
recensito da F. Guerra, N. Robotti 29:5/6, 90
Fisica atomica allo zero assoluto, M. Inguscio
recensito da L. Belloni 29:5/6, 90
40 Years of Berezinskii-Kosterlitz-Thouless Theory
recensito da G. Benedek 29:5/6, 90
From the Atomic Bomb to the Landau Institute, I. M. Khalatnikov
recensito da G. Benedek 29:5/6, 90
Integrable Hamiltonian Hierarchies, V. Stefanov Gerdjikov,
G. Vilasi and A. Borissov Yanovski (Editors)
recensito da A. Yoshioka 29:5/6, 90
Il mistero delle sette sfere, G. F. Bignami
recensito da L. Belloni 29:3/4, 56
La fisica della sobrietà, G. V. Pallottino
recensito da E. Rimini 29:1/2, 85
Le costellazioni al binocolo, B. Kambič
recensito da A. Sandrinelli 29:3/4, 55
Novel Superfluids, Vol. 1, K. H. Bennemann and
J. B. Ketterson (Editors)
recensito da J. P. Toennies 29:5/6, 90
Optical Antennas, M. Agio and A. Alù (Editors)
recensito da G. Benedek 29:5/6, 90
Quantum Triangulations, M. Carfora, A. Marzuoli
recensito da G. Benedek 29:1/2, 84
Sempre più veloci, U. Amaldi
recensito da G. Tosi 29:1/2, 84
Simmetrie dell'Universo, P. Berra
recensito da L. Belloni 29:3/4, 55
The Theory of the Quantum World, D. Gross, M. Henneaux and
A. Sevrin (Editors)
recensito da V. Celli 29:5/6, 90
Una storia naturale del tempo, P. Richet
recensito da G. Benedek 29:3/4, 56
The Neutron
A Tool and an Object in Nuclear and Particle Physics,
H. G. Börner, F. Gönnenwein
recensito da G. Colò 29:3/4, 55

IN EVIDENZA

FermiLAT conferma Fermi (dopo 64 anni) - La galassia più lontana - Punti quantici sullo schermo - Dinamica dei capelli - Indice di rifrazione nullo, o quasi 29:1/2, 86
Dove va l'energia dei cavalloni? - Un'altra forma di materia oscura? - I momenti magnetici di protone e antiprotone sono diversi? - Navi e scie - Poligoni e stelle - Interazione carica-superficie dielettrica 29:3/4, 57
Novità sull'accelerazione LASER in un dielettrico - Invertendo il tempo - Cristalli di Wigner - Un nuovo limite sull'emivita di decadimento doppio beta senza neutrini (0v2β) dal Laboratorio INFN del Gran Sasso 29:5/6, 92

DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
ITALIAN PHYSICAL SOCIETY MEMBERSHIP APPLICATION FORM

2014

Nome
Name _____

Cognome
Surname _____

Luogo e data di nascita
Place and date of birth _____

Nazionalità
Nationality _____

a Istituto o Ente di appartenenza
Affiliation _____

_____

b Indirizzo privato
Home address _____

_____

Indirizzo e-mail
E-mail _____

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica):
Brief scientific curriculum: _____

_____

_____

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza: a b
Address where Bullettin and Society communications are to be sent:

Firme leggibili dei Soci Presentatori (*)
Signatures of two introducing Members (*)

Nomi in stampatello e indirizzi e-mail
Names in block letters and e-mail addresses

1) _____ _____

2) _____ _____

○ Socio INDIVIDUALE INDIVIDUAL Member	€ 45,00 ☐
○ Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni JUNIOR Member under 30	€ 25,00 ☐
○ Socio SENIOR al di sopra dei 70 anni SENIOR Member over 70	€ 35,00 ☐
○ Socio INDIVIDUALE anche membro di altre associazioni scientifiche relative alla fisica (**) INDIVIDUAL Member also member of other scientific associations (**)	€ 35,00 ☐
○ Socio COLLETTIVO COLLECTIVE Member	€ 260,00 ☐
○ Socio SOSTENITORE (a partire da) SPONSORING Member (starting from)	€ 310,00 ☐

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda. (*)
Applicants will have to pay the membership dues only AFTER having been informed by the Society of the acceptance of their application. (*)

(*) Eccetto per i Soci INVITATI (neolaureati triennali in Fisica) che usufruiscono di pre-associazione gratuita per due anni.
(*) Except for INVITED Members (newly graduated bachelors in Physics) who are granted free pre-membership for two years.

(**) Informazioni: `http://www.sif.it/associazione`
(**) Information: `http://en.sif.it/association`

Data
Date _____

Firma
Signature _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003
I hereby authorize the treatment of my personal data according to the privacy law D.Lgs. 196/2003
sì /yes ☐ no ☐

Società Italiana di Fisica
Via Saragozza 12 - 40123 Bologna
Tel. 051331554 - Fax 051581340 - e-mail: sif@sif.it - internet: http: //www.sif.it

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Per diventare Socio SIF:

Informazioni: http://www.sif.it/associazione

Quote sociali 2014 della Società Italiana di Fisica

○ Socio Individuale	€ 45,00	☐
○ Socio Junior al di sotto dei 30 anni	€ 25,00	☐
○ Socio Senior al di sopra dei 70 anni	€ 35,00	☐
○ Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica relativa alla fisica (*)	€ 35,00	☐
○ Socio Collettivo	€ 260,00	☐
○ Socio Sostenitore (a partire da)	€ 310,00	☐

(*) Informazioni: http://www.sif.it/associazione

Per diventare Socio EPS:

Informazioni: http://www.eps.org/subscribe

Quote sociali 2014 della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

○ Socio	€ 22,00	☐
○ Socio al di sotto dei 30 anni	€ 16,50	☐
○ Socio in pensione	€ 16,50	☐
○ Studente	€ 16,50	☐
○ Insegnante (pre-universitario)	€ 16,50	☐

Modalità di pagamento della quota sociale alla SIF:

☐ online a mezzo carta di credito, tramite collegamento diretto e sicuro (POS) con la banca BNL, attraverso l'Area Soci del sito web della Società Italiana di Fisica

☐ a mezzo assegno bancario

☐ a mezzo bonifico postale:
BancoPosta, IBAN IT14 G076 0102 4000 0001 9197 409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.

☐ a mezzo versamento sul c/c postale n. 19197409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.

☐ a mezzo carta di credito, tramite la Società Italiana di Fisica, compilando e spedendo il modulo sottostante (**)

(**) In questo caso sono escluse le carte Diners e American Express.

Compilare e spedire a :

Società Italiana di Fisica – Via Saragozza 12 – 40123 Bologna – fax 051 581340

Il sottoscritto: _____

Nato a: _____ il _____

Residente a: _____

Via: _____ n. _____

Documento di riconoscimento: _____ n. _____

Rilasciato da: _____ il _____

Titolare carta di credito **VISA** n. _____

Scadenza _____

Titolare carta di credito **MASTERCARD** n. _____

Scadenza _____

AUTORIZZA

La Società Italiana di Fisica

A prelevare dalla carta di credito sopra descritta

L'importo di € _____ , _____ (_____)
(importo in cifre) (importo in lettere)

Data _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003

sì ☐ no ☐

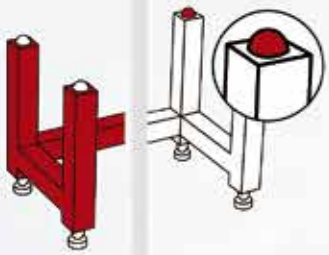
_____
Firma

Prodotto in esclusiva da
Vacuum FAB srl
Tel. +39 02 90363318
ufficiovendite@vacuumfab.it

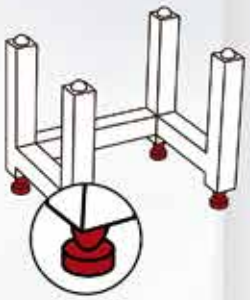
honeycombdamping.com

Tavoli antivibranti per microscopia, apparecchi scientifici, bilance di precisione e optoelettronica. Ideali postazioni di lavoro accessoriate con ripiano inferiore portacomputer, ripiano sospeso portaoggetti, portamonitor, bracciolo isolato dal tavolo e tutti gli accessori utili all'operatore. Ideato e prodotto esclusivamente in Italia.

Il piano di appoggio ha le superfici interamente in alluminio anodizzato, a prova di liquidi e facile da pulire. Il cuore a nido d'ape lo rende rigido e leggero e conferisce proprietà antivibranti. Su richiesta con fori filettati.



Il supporto in pesante carpenteria d'acciaio è una solida base che integra elementi semisferici di un polimero viscoelastico ad alto assorbimento che isolano il piano dalle vibrazioni ambientali.



L'innovativo sistema "**on tiptoe**", permette un facile livellamento del tavolo filtrando le vibrazioni provenienti dal pavimento.

...e chi si muove?!

A Tutto Tondo

PER GENERARE FORZA, MOVIMENTO ED OSCILLAZIONE

PILine® Dispositivo ad Alta Velocità

- Forza di spinta fino a 10 N
- Velocità fino a 500 mm/s
- Accuratezza Sub-Micrometrica

Attuatore Piezo PiezoMove ®

- Corse fino a 1 mm
- Risoluzione sub-nanometrica
- Elevata dinamica

PICMA® Attuatori Piezo Multistrato

- Grande affidabilità
- Risposta nei microsecondi
- Risoluzione sub-nanometrica

La loro capacità di generare forza, movimento ed oscillazioni ultrasoniche con la massima precisione, fa dei piezo la prima scelta in un'ampia gamma di applicazioni nel settore medicale. Che si parli di generazione di oscillazioni ultrasoniche o di microdosimetria, PI offre un'ampia gamma di soluzioni standard o custom.

Per informazioni: **info@pionline.it - www.pionline.it**

Physik Instrumente S.r.l. · Telefono +39 02 66501101

PIEZO NANO POSITIONING

Precision and control: FABulous blend!

VACUUM FAB
MOTION CONTROL & OPTICS

Vacuum FAB rappresenta in Italia le seguenti case:
Phytron: Motori passo passo ed elettroniche per applicazioni in aria, vuoto, UHV, criogenia e spazio.
PI miCos: per componenti e sistemi di micro-posizionamento in vuoto, UHV, criogenia e spazio,
PI: per componenti e robot Hexapod per vuoto.
Qioptiq: componenti ottici per laser, video-microscopia, micro-ottica, imaging.
Vacuum FAB può realizzare soluzioni su misura dall'idea al prodotto finito.
Contatti: Tel. +39 02 90363318 - info@vacuumfab.it - www.vacuumfab.it

CAEN: THE ONE-STOP-SHOP FOR THE PHYSICS COMMUNITY

CAEN Electronic Instrumentation

CAEN HV CONTROL SOFTWARE

POWER IS NOTHING WITHOUT CONTROL

- Thanks to the **New HV Control Software**, our bridges (V1718, V2718) and the VME Multimaster capability, our VME High Voltage Boards **become a System.**
- The NEW and entirely redesigned Control Software establishes a new benchmark: intuitive, reliable, user friendly and able to control all the CAEN Power Supplies in any Form Factor (Mainframes, VME, NIM, Desktop and NDT). **A NEW market reference!**

VME Programmable HV Family

Common Features:

- Available with positive, negative or mixed polarity
- Optional Imon-Zoom available
- 6 independent channels
- General purpose instruments for use with: Photomultiplier tubes, Germanium detectors and many others devices

Table comparing models

Model	V Full Scale	Maximum Current	Iset/Imon resolution
V6519	0.5 kV	3 mA	50 nA (5 nA*)
V6521	6 kV	300 µA	5 nA (0.5 nA*)
V6521H	6 kV	20 µA	1 nA (0.1 nA*)
V6533	4 kV	3 mA (9 W max)	50 nA (5 nA*)
V6534	6 kV	1 mA	20 nA (2 nA*)

* Optional Imon Zoom x10

www.caen.it

Share-it!

V1718 - V2718 EASY SET-UP VIA USB/OPTICAL LINK THANKS TO NEW HV CONTROL SOFTWARE

COMPATIBLE WITH BOTH LOW COST AND HIGH PERFORMANCE CRATES

- VME8010, VME8011, VME8004B
- VME8100, VME8200

ALL VME HV Modules Available with Positive, Negative and Mixed Polarity