HANNO COLLABORATO A QUESTO NUMERO:
F. K. A. Allotey, L. Belloni, G. Benedek, A. Bettini, T. M. Brown, F. Brunetti, G. Caglioti, R. Camuffo, A. Cammelli, E. Chiavassa, L. Cifarelli, E. De Sanctis, A. Di Carlo, I. Di Giovanni, R. Fazio, F. Ferrari, S. Focardi, R. Gatto, A. Gemma, L. Grodzins, G. Grosso, F. Guerra, F. Iachello, W. Kininmonth, E. Longo, S. Mancini, P. Mazzoldi, A. Oleandri, G. Onida, V. Paticchio, F. Pedrielli, A. Reale, G. C. Righini, N. Robotti, W. Shea, I. Talmi, A. Tomadin, M. Zannoni, A. Zichichi

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 26 • N. 5 settembre-ottobre 2010 • N. 6 novembre-dicembre 2010

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORI
Sergio Focardi
Giuseppe Grosso

COMITATO SCIENTIFICO
G. Benedek, A. Bettini, S. Centro, E. De Sanctis, E. Iarocci, I. Ortalli, F. Palmonari, R. Petronzio, P. Picchi, B. Preziosi

SOMMARIO

3 EDITORIALE / EDITORIAL

SCIENZA IN PRIMO PIANO

5 **Quantum simulators and quantum design**
R. Fazio, A. Tomadin

10 **La rivoluzione della plastica nel settore fotovoltaico**
A. Di Carlo, A. Reale, T. M. Brown, F. Brunetti

PERCORSI

23 **The tabletop measurement of the helicity of the neutrino**
L. Grodzins

30 **Giulio Racah (1909-1965): modern spectroscopy and group theory**
F. Iachello, I. Talmi

FISICA E...

36 **Frane sotto controllo**
F. Pedrielli, F. Ferrari, I. Di Giovanni

47 **Dalla leggenda dei materiali alla magia del vetro**
P. Mazzoldi

61 **Clausius Clapeyron and the regulation of global warming**
W. Kininmonth

Ricerca & Industria

71 **E4: La specialista emiliana della personalizzazione nell'Information Technology**
A. Gemma

73 **CRIOTEC: La piccola torinese e il gigante della ricerca**
R. Camuffo

IL NOSTRO MONDO

75 **Cerimonia Inaugurale XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica**

84 **50 anni di laser. Tavola rotonda al XCVI Congresso Nazionale della SIF**
G. C. Righini

86 **Assemblea di ratifica delle elezioni delle cariche sociali della SIF per il triennio 2011-2013**

87 **African Physical Society**
F. K. A. Allotey

90 **Nicola Cabibbo and his role in elementary-particle theory**
R. Gatto

News

92 **The Italian graduate profile survey**
A. Cammelli

96 **Premio Fermi 2010**
A. Bettini

98 **Premio Occhialini 2010**
A. Bettini

99 **Premio Nobel per la Fisica 2010**
G. Grosso

101 **Premio e medaglia Thomson 2010**
A. Bettini

101 **III centenario di Laura Bassi**
L. Cifarelli, A. Oleandri

Intervista a

102 **Alessandro Clerici**
E. De Sanctis

103 OPINIONI

105 RECENSIONI

109 IN RICORDO DI(*)
A. Pantaleo (V. Paticchio)
G. Dellacasa (E. Chiavassa)
N. Cabibbo (R. Gatto)
G. Charpak (A. Zichichi)
B. Ferretti (A. Zichichi)

110 INDICE VOLUME 26

(*) Il testo completo è pubblicato online: www.sif.it/SIF/it/portal/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 ultima pagina) all'indirizzo: `http://www.sif.it/SIF/it/portal/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 ultima pagina e pubblicate in rete all'indirizzo:
  `http://www.sif.it/SIF/it/portal/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://www.sif.it/SIF/en/portal/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://www.sif.it/SIF/en/portal/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

Carissimi Soci,

grazie di cuore per la grande fiducia che mi avete accordato nel rieleggermi quest'anno alla presidenza della SIF.

Con il 2010 si conclude un anno di cambiamenti e di riforme per il nostro Paese e per la nostra comunità scientifica, un anno durante il quale la SIF ha continuato le sue azioni su vari fronti. In sintesi, la SIF è andata avanti con la sua iniziativa per l'ordine professionale congiunto per fisici e chimici, ha intrapreso vari passi a vari livelli per la tutela dell'insegnamento della Fisica nella Scuola Secondaria, si è nuovamente impegnata nel PLS (Piano Lauree Scientifiche) e in altre questioni legate alla didattica, in collaborazione con altre associazioni scientifiche come AIF (Associazione per l'Insegnamento della Fisica), SAIt (Società Astronomica Iaiana), SCI (Società Chimica Italiana) e UMI (Unione Matematica Italiana), ha infine lanciato un appello al Ministro della Pubblica Istruzione, dell'Università e della Ricerca affinché venga rivolta la massima attenzione alle prospettive e opportunità dei giovani. Parlando di ricerca, vorrei cogliere l'occasione per sottolineare con orgoglio l'eccellenza dei fisici italiani, in Italia e all'estero. Un esempio per tutti: non può essere un caso se alla guida dei quattro maggiori esperimenti di LHC al CERN avremo nel 2011 ben quattro italiani: complimenti a Pierluigi Campana (LHCb), Fabiola Gianotti (ATLAS), Paolo Giubellino (ALICE) e Guido Tonelli (CMS).

Nel 2010 il Congresso nazionale si è svolto a Bologna con grande successo e con un aumento di quasi il 20% nel numero di partecipanti. Nel 2011 il Congresso sarà a L'Aquila dove faremo di tutto per rendere il dovuto tributo scientifico a una città e un'università di grandi tradizioni culturali che tanto hanno sofferto per il sisma del 2009.

A Varenna nel 2010 si sono felicemente svolti tre corsi della Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi". Nel 2011 questi saranno quattro. Inoltre la SIF, insieme alla Società Europea di Fisica (*European Physical Society*, EPS), lancerà l'iniziativa che si deve alla Divisione di Elettronica Quantistica e Ottica (*Quantum Electronics and Optics Division*, QEOD) dell'EPS per l'istituzione dell'Anno Internazionale della Luce, sotto l'egida delle Nazioni Unite. Ciò avverrà in uno speciale *workshop* che avrà luogo a Varenna, inglobato in una settimana dedicata alla cultura scientifica nell'intera provincia di Lecco. L'EPS, proprio alla fine del 2010, ha inoltre annunciato il suo piano strategico per il prossimo decennio, che mira a dare nuova linfa e maggiore voce in Europa e nel mondo alla vasta comunità di ben 41 società scientifiche che essa in effetti rappresenta.

Dal lato editoriale, la SIF nel 2011 inaugura EPJ Plus, una nuova sezione di The European Physical Journal (EPJ), pur mantenendo Il Nuovo Cimento, La Rivista del Nuovo Cimento (IF = 3.5) e il Giornale di Fisica, con allegati i Quaderni di Storia della Fisica e i supplementi della collana didattica "L'Energia nella Scuola". Immutata, anzi semmai intensificata, la collaborazione della SIF con i suoi *partner* europei per le altre sezioni di EPJ e per Europhysics Letters (EPL), riviste i cui IF sono in continua significativa crescita.

Infine il 2011 sarà l'anno di esordio dei moltissimi giovani, già pre-associati alla SIF per un biennio con il titolo di "Soci Invitati", che avranno finalmente l'opportunità di diventarne Soci effettivi e di contribuire alla vita della Società.

Con l'auspicio di una sempre migliore e fruttuosa collaborazione, a voi tutti i miei più cordiali auguri,

Luisa Cifarelli

Dear Members,

I gratefully thank you for having placed your trust in me with my re-election this year as SIF President.

With 2010 it's a year of changes and reforms in our Country and in our scientific community that comes to an end, a year during which SIF carried out the actions undertaken on different fronts. In short, SIF has pursued its initiative for a common professional roll of physicists and chemists; it has made several steps at different levels to safeguard the teaching of physics in the Secondary School; it has engaged again in the PLS (Scientific Degrees Plan) and committed in other issues relative to education in cooperation with other scientific associations like AIF (Association for Physics Teaching), SAIt (Italian Astronomical Society), SCI (Italian Chemical Society) and UMI (Italian Mathematical Union); and finally it has addressed the Minister of Education, University and Research requesting the greatest attention on the perspectives and opportunities of the young generations. Talking about research, I would like to take the opportunity to proudly point out the excellent standard of the Italian physicists in Italy and abroad. An example for all: it cannot be a coincidence that the four major LHC experiments at CERN will be run in 2011 under the leadership of indeed four Italians: congratulations to Pierluigi Campana (LHCb), Fabiola Gianotti (ATLAS), Paolo Giubellino (ALICE) e Guido Tonelli (CMS).

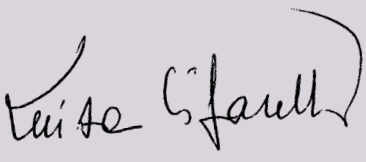
In 2010 our National Congress took place in Bologna successfully, with an almost 20% increase in the number of participants. The Congress in 2011 will be held in L'Aquila, where we shall do our best and more to pay the due scientific tribute to the town and its university, both of great cultural tradition, that so much suffered from the 2009 earthquake.

In 2010 three courses of the International School of Physics "Enrico Fermi" took place with success in Varenna. In 2011 the courses will be four. Moreover, SIF together with the European Physical Society (EPS) will launch the initiative, promoted by the EPS Quantum Electronics and Optics Division (QEOD), for the establishment of the International Year of Light, under the auspices of the United Nations. This launch will take place in Varenna with a special workshop encompassed in a week dedicated to scientific culture in the whole province of Lecco. EPS, just at the end of 2010, has also announced its strategy plan for the next decade, aiming to give new vigour and a louder voice in Europe and worldwide to the vast community of the as many as 41 scientific societies it represents.

As far as publications are concerned, SIF in 2011 will start EPJ Plus, a new section of The European Physical Journal (EPJ), yet maintaining Il Nuovo Cimento, La Rivista del Nuovo Cimento (IF =3.5) and Giornale di Fisica, including Quaderni di Storia della Fisica and the supplements of the series "*L'Energia nella Scuola*" ("Energy at School"). Unchanged or, rather, enhanced is the collaboration between SIF and its European partners for the others sections of EPJ and for EPL (Europhysics Letters), whose impact factors register an increasing trend.

Finally 2011 will see the debut of the numerous young graduates already pre-associated for two years as "Invited Members", who will eventually have the opportunity to become effective Members and bring their contribution to the life of the Society.

With the wish of an improvingly good and fruitful collaboration, my warmest greetings to you all,



INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"
COURSES 2011
VARENNA · VILLA MONASTERO · LAKE COMO

1st course (CLXXIX course)
"Laser-Plasma Acceleration"
20 – 25 June 2011
Directors:
F. FERRONI (Sapienza University, Roma)
L. A. Gizzi (IPCF - CNR, Pisa)

2nd course (CLXXX course)
"Three-dimensional Partonic Structure of the Nucleon"
28 June – 8 July 2011
Directors:
M. ANSELMINO (Torino University)
H. AVAKIAN (Jefferson Laboratory, Newport News, VA)

3rd course (CLXXXI course)
"Microscopy Applied to Biophotonics"
12 – 22 July 2011
Directors:
F. S. PAVONE (LENS, Firenze)
P. SO (MIT, Cambridge, MA)
P. FRENCH (Imperial College, London)

4th course (CLXXXII course)
"Neutrino Physics and Astrophysics"
(Joint SIF - ISAPP course)
26 July – 5 August 2011
Director:
G. BELLINI (INFN, Milano)

XCVII CONGRESSO NAZIONALE
DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

L'Aquila, 26 - 30 settembre 2011

Dipartimento di Fisica
Università dell'Aquila

QUANTUM SIMULATORS AND QUANTUM DESIGN

ROSARIO FAZIO[1], ANDREA TOMADIN[2]

[1]NEST, Scuola Normale Superiore and Istituto di Nanoscienze-CNR, Pisa, Italy

[2] Institute for Quantum Optics and Quantum Information of the Austrian Academy of Sciences, Innsbruck, Austria

Controlled quantum systems can be used to simulate the behaviour of strongly correlated systems. This basic intuition has been developed in several different realizations ranging from Josephson arrays to cold atoms in optical lattices. The main ideas at the basis of these quantum simulators are briefly described.

The ability to design and produce controllable many-body systems has been realized to be a precious tool to explore the world of strongly correlated systems. In several different physical phenomena, ranging from high-temperature superconductivity to the physics of heavy fermions to the fractional quantum Hall effect, strong local correlations play a crucial role. This is why a considerable effort has been devoted to designing models that are able to capture the essential aspects of the physical systems. Very often even these "simplified" models are quite difficult to study as the values of the relevant parameters for the corresponding physical system do not allow to apply simple (*e.g.* perturbative) approaches. The seemingly simplified models that aim at describing these correlated systems, *e.g.* the Hubbard model of high-temperature superconductivity, are extremely difficult to solve and over the years a number of judicious analytical and numerical methods have been developed. Despite the enormous progress in numerical and analytical techniques developed for strongly correlated systems, it is very important to find new paths to explore the physics of strong correlations. The impressive progresses in the nanofabrication and in the manipulation of cold atomic gases can materialize an alternative route, first put forward by R. P. Feynman, to explore complex quantum system: The realization of a quantum simulator [1].

A quantum simulator is a (typically engineered) experimental setup that can simulate one or several given model Hamiltonians. The novely with respect to the "standard" analytical and numerical approaches to the solution of the Hamiltonian is that here a controlled quantum system is used to mimic the physical system itself. The advantages of this approach are twofold. First of all it is possible to explore the properties of strongly correlated model Hamiltonians also in those regions of the phase diagram which are elusive to numerical and analytical investigations. Secondly it allows to test to which extent the model Hamiltonians under consideration are appropriate to treat the physical systems that they are supposed to

describe or whether additional ingredients are necessary.

An "analog" quantum simulator is tailored to mimic a definite model, with the goal to offer a deep insight in the complete spectrum of its physical properties. A "digital" quantum simulator, instead, takes advantage of a modular construction that features an improved versatility and allows the simulation of entire classes of systems. A digital quantum simulator may become a proper quantum computer when appropriately scaled up and augmented with demanding features (*e.g.* error correction) to faithfully execute the quantum algorithms and procedures investigated in the field of quantum computation. In general, the challenge of the quantum simulation approach is the realization of reliable interfaces between the quantum simulator and the classical world which enable an accurate control of the simulator and its dynamics. Although in the early '80s, when Feynman introduced the concept of quantum simulator, these stringent requirements have probably made the idea sound daunting, nowadays the list of successful experimental realizations is quite substantial!

What properties should a system have to be a viable quantum simulator? The key word here is controllability. Not only one should be able to realize a system that is faithfully described by a given model Hamiltonian (*e.g.* the Hubbard or Heisenberg model), but also, more importantly, one should be able to control the various parameters characterizing the model in order to explore the largest possible region of the phase diagram. Beyond a firm grip on the properties of the system at rest, it is also important to demonstrate the control of its time evolution. Being able to initialize, evolve for a definite time, and stop the dynamics of the system is essential to implement a reproducible measurement scheme or to apply a quantum algorithm. The realization of a quantum simulator can thus be seen as an exhaustive effort of Hamiltonian engineering. As is often the case in the emerging field of quantum technology, the experimental challenge is to control a quantum system without altering the dynamics of the physical phenomena under scrutiny. Quantum simulators have a long and successful story. Probably the first fabricated system to have these characteristics were Josephson junction arrays. Later, the focus moved on atomic and molecular systems, that enjoy a superior isolation from the environment and longer coherence times than solid-state samples and arguably meet more easily the above-mentioned requirements of controllability. Trapped ions were first indicated as candidates for the realization of quantum logic gates. The field boosted with the appearance of cold atoms in optical lattices which proved to be excellent simulators of a large variety of strongly interacting Fermi and Bose systems. The implementation with cold atoms has allowed in the last two decades unprecedented control of the quantum properties of matter and it is currently the target of vast research efforts. This mature field still allows breakthrough achievements (*e.g.* the recent detection and counting of single atoms in a lattice) and promises to foster also the research in hybrid systems (*e.g.* interaction of cold atoms and mesoscopic structures). More recently people also started to analyze the possibility to use QED cavities and nonlinearities in optical fibers to simulate phenomenology of interest for condensed-matter systems. In the following we will skim through three decades of activity in this field.

A Josephson array [2] consists of a regular network of superconducting islands weakly coupled by tunnel junctions (in fig. 1 a picture of an array fabricated at TU-Delft). With the usage of submicron lithography, the parameters of the array (associated to the shape of the islands, the thickness of the oxide barrier, etc.) can be made quite uniform across the whole array (variations in junction parameters are typically below 10%). The first artificially fabricated Josephson-junctions arrays were realized almost thirty years ago at IBM as part of their effort to develop an electronics toolbox based on superconducting devices. In the first ten years of their existence, Josephson arrays were intensively exploited to explore a wealth of classical phenomena. The arrays proved to be an ideal model system in which classical phase transitions, frustration effects, classical vortex dynamics, nonlinear dynamics, and chaos could be studied in a controlled way. In this regime, the arrays are described by the so-called XY model, *i.e.* a cornerstone model in statistical mechanics that deals with a lattice of planar classical spin coupled by an exchange-like interaction. The observation of the Berezinskii-Kosterlitz-Thouless transition in Josephson arrays is probably one of the most spectacular experiments in this respect. By the end of the '80s, semiconductor technology had pushed device dimensions well below the micron size. Circuits with such small junctions show single-electron effects when cooled down to temperatures lower than the energy needed to add an extra electron charge to a neutral island. Josephson-junction arrays in the quantum regime were first fabricated in Delft. The competition between single-electron effects and the Josephson effect was the crucial mechanism that allowed Josephson arrays to simulate quantum many-body systems. In arrays made of submicron junctions, quantum fluctuations drive the system through a variety of quantum phase transitions. A quantum Josephson array may be insulating at zero temperature even though each island is still superconducting when a global phase coherence is established throughout the whole system. Josephson arrays were thus able to simulate for the first time the celebrated Bose-Hubbard model.

The fascinating idea of Feynman was developed in its full glory in cold atomic systems. In the '90s, several experimental techniques were devised or improved to

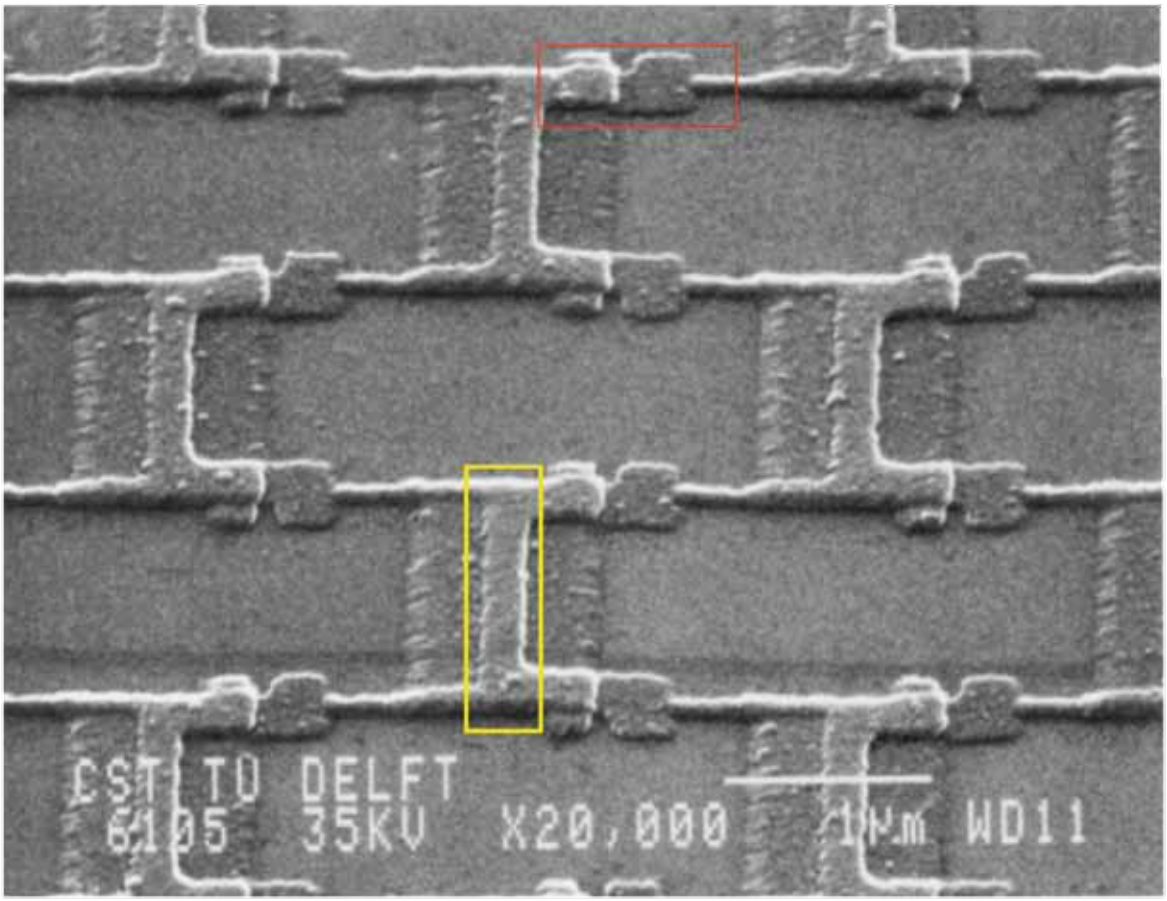


Fig. 1 Picture of a Josephson junction array fabricated in Delft in the group of J. E. Mooij. The red rectangle indicates the region of the junction between two neighboring islands (marked in yellow). The structure repeats periodically up to several thousands of islands.

trap, cool and control ensembles of atoms using magnetic fields and laser beams. Among the most important achievements, the Bose-Einstein condensation was demonstrated in 1995. Ensembles of bosons were first thoroughly investigated because of the early interest in the Bose-Einstein condensate and because it is technically easier to cool bosons to temperatures where the quantum effects become relevant. Quantum degeneracy for fermions was achieved only in 1999. After 2001, composite atomic ensembles have been realized, either mixing atomic species with the same statistics but different masses, or mixing bosons and fermions. A major breakthrough in the realization of a quantum simulator has been achieved by loading the cold atoms into optical lattices, *i.e.* periodic arrays of potential minima realized by electromagnetic standing waves that result from the superposition of counterpropagating laser beams (see fig. 2). Optical lattices allow one to simulate periodic systems with tunable onsite interaction, eventually bringing the atomic ensemble into a strong-coupling regime. Following the initial proposal [3], ultra-cold bosonic atoms in optical lattices have been suggested as another important realization of the Bose-Hubbard model. With this technique the quantum phase transition between a superfluid and a Mott insulator was realized in 2001. The experimental test of the Mott-insulator–superfluid transition [4] has paved the way to study strongly correlated phenomena in trapped cold atomic gases. Fermionic atoms in an optical lattice are described by a fermionic Hubbard model, for which a quantum phase transition of the BCS type takes place in the presence of attractive interaction. The possibility to simulate high-temperature superfluidity with such model has also been predicted. Mixtures of fermions and bosons were also considered, and a very complex phase diagram was found. The possibility to implement a complex pattern for the phases of the

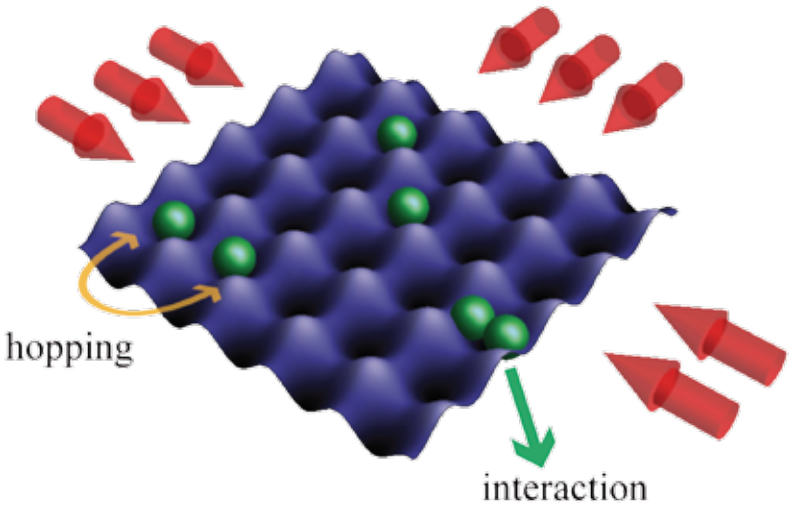


Fig. 2 A sketch of an optical lattice. Pairs of counterpropagating lasers create a periodic potential for atoms. Many important effects in these systems arise from the competition between hopping and local interaction.

lattice lasers was discussed as well. This allows to create a "magnetic frustration" in the lattice and observe fractional quantum Hall states. We finally mention the possibility to study optical lattices with spinor condensates which present a very rich phase diagram. As compared to previous attempts to realize quantum simulators, optical lattices offer a number of unprecedented advantages. As we already said different species (bosonic and/or fermionic) can be loaded. They are free from imperfections. Most interestingly, they allow to study a variety of nonequilibrium phenomena which are unaccessible in more traditional condensed-matter systems. The understanding of out-of-equilibrium many-body quantum systems is very important because it applies to several devices of physical and technological relevance. The transport of electrons through a metal in the presence of an external field, for example, is a nonequilibrium process that can be simulated with fermionic atoms in a tilted optical lattice. To investigate the cooperative dynamics and the creation of strong correlations in an ensemble of particles helps to understand the critical phenomena and the quantum phase transitions. Several models of driven systems, of paradigmatic relevance in the quantum theory of chaos, have also been implemented with quantum simulators. The problems of the thermalization of many-body closed systems has raised considerable theoretical interest. More precisely, there is at present only a partial understanding of the long-time dynamics of a system following a strong drive out of equilibrium. In this field the simulation of the quantum dynamics can be an invaluable tool to orientate the theoretical investigations. The number of simulated models and the variety of physical phenomena discussed above show that optical lattices are indeed a "many-body laboratory" [5,6], where many results have been obtained and further advances are expected in the years ahead. In particular they are a strong candidate for the ambitious task of realizing a universal quantum simulator [7].

Finally we consider a more recent direction in the field of quantum simulators, based on arrays of QED-cavities [8]. A cavity array consists of a regular arrangement of QED-cavities which are coupled by the hopping of photons (see fig. 3). Light resonates in each cavity and interacts with matter contained therein, producing hybrid quasiparticles called polaritons. The recent proposals to realize a Mott phase of polaritons have paved the way to use coupled cavities to study strongly correlated phenomena in a controlled way. The rich scenario which emerges in these systems stems from the interplay of two effects. Light-matter interaction inside the cavity leads to a strong effective Kerr nonlinearity between photons. By controlling the atomic level spacings and the photonic resonance frequency inside the cavity, it is possible to achieve a photon blockade regime such that the photon fluctuations in each cavity are strongly suppressed. On the other hand, photon hopping between neighbouring cavities favours delocalization and competes with photon blockade. Coupled cavities can be realized in a wide range of physical systems, from nanocavities in photonic crystals to Cooper-pair boxes in superconducting resonators. It is therefore possible to study a whole new

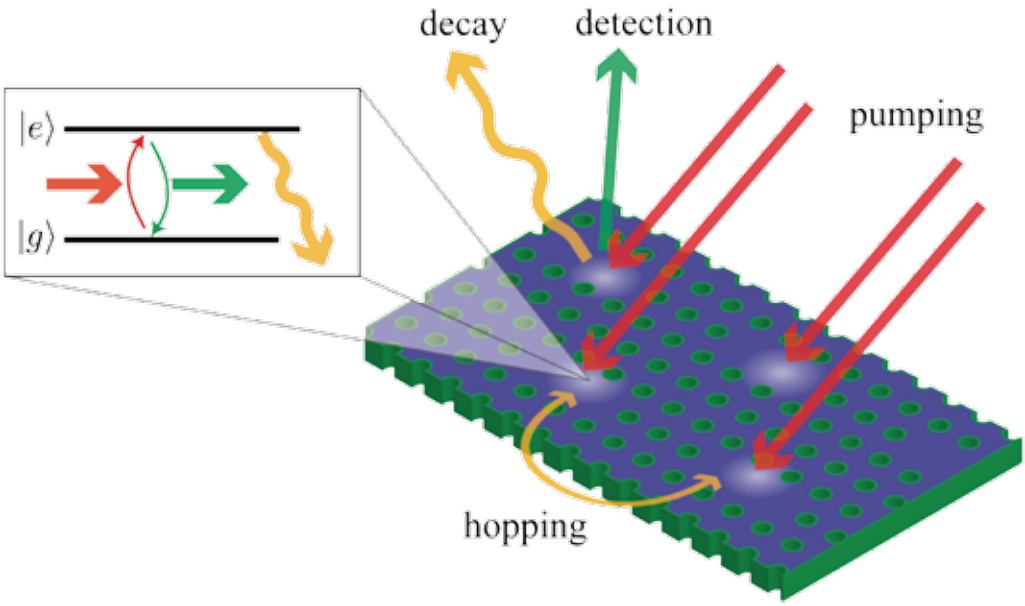


Fig. 3 A sketch of a QED-cavity array obtained from a photonic crystal. It consists of a regular arrangement of QED cavities. Neighbouring cavities are coupled by photon hopping. Nonlinearities in the cavities may produce an effective repulsion between the photons leading to an anharmonic spectrum. The nonlinearity may be produced, *e.g.* by a two-level system (depicted in the inset) coupled to the light resonating in the cavity and subjected to decay. Photons in the cavities have a finite lifetime therefore the cavities are pumped with an external coherent drive.

class of strongly interacting lattice systems that, for the first time, can be controlled down to the single site. Although at present there are no experimental realizations of cavity arrays, the technological requirements to produce a small number of coupled cavities have already been met at a fundamental level. In this respect it is relevant to explore how the properties of small clusters of cavities compare to the expected results in the many-body limit.

The realization of controlled quantum systems has already shown itself to be a fruitful approach to understanding the physics of strongly correlated many-body systems. It is widely believed that further insight will be gained as the research on this topic proceeds in the forthcoming years. We finally mention that Italy has numerous research groups active in this field (Firenze, Pisa, Trento, Torino, Salerno, Roma, Catania, Trieste, Napoli, Bari, Camerino and Perugia, with the hope not to have forgotten anybody) and several important results have been obtained both on the experimental and on the theoretical side.

References

[1] R. P. Feynman, *"Simulating physics with computers"*, *Int. J. Theor. Phys.*, 21 (1982) 467.
[2] R. Fazio and H. S. J. van der Zant, *"Quantum Phase Transitions and Vortex Dynamics in Superconducting Networks"*, *Phys. Rep.*, 355 (2001) 235.
[3] D. Jaksch, H. J. Briegel, J. I. Cirac, C. W. Gardiner, and P. Zoller, *"Entanglement of Atoms via Cold Controlled Collisions"*, *Phys. Rev. Lett.*, 82 (1999) 1975.
[4] M. Greiner, O. Mandel, T. Esslinger, T.W. Hänsch, and I. Bloch, *"Quantum phase transition from a superfuild to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms"*, *Nature*, 415 (2002) 39.
[5] M. Lewenstein, A. Sanpera, V. Ahufinger, B. Damski, A. Sen (De), and U. Sen, *"Ultracold atomic gases in optical lattices: Mimicking condensed matter physics and beyond"*, *Adv. Phys.*, 56 (2007) 243.
[6] I. Bloch, J. Dalibard, and W. Zwerger, *"Many-body physics with ultracold gases"*, *Rev. Mod. Phys.*, 80 (2008) 885.
[7] E. Jané, G. Vidal, W. Dur, P. Zoller, and J. I. Cirac, *"Simulation of quantum dynamics with quantum optical systems"*, *Quantum Inf. Comp.*, 3 (2003) 15.
[8] M. J. Hartmann, F.G.S.L. Brandao, and M.P. Plenio, *"Quantum many-body phenomena in coupled cavity arrays"*, *Laser & Photon. Rev.*, 2 (2008) 527.

Rosario Fazio

Rosario Fazio, PhD in Physics in 1990 at the University of Catania, is presently Professor of Condensed Matter Physics at Scuola Normale Superiore in Pisa. In the past he held professor positions also at the University of Catania and at SISSA-Trieste. His main research interests are in Quantum Electronic Transport and in Quantum Information.

Andrea Tomadin

Andrea Tomadin, studied at the Università degli Studi di Pisa and at Scuola Normale Superiore. In 2006 he defended his master thesis, where he investigated quantum chaos in ultracold atomic systems. In 2010 he obtained his PhD from Scuola Normale Superiore for work on the nonequilibrium dynamics of many-body systems. Currently, he holds a postdoctoral position at the Institute of Quantum Optics and Quantum Information of the Austrian Academy of Sciences.

LA RIVOLUZIONE DELLA PLASTICA NEL SETTORE FOTOVOLTAICO

ALDO DI CARLO, ANDREA REALE, THOMAS M. BROWN, FRANCESCA BRUNETTI
Centre for Hybrid and Organic Solar Energy (CHOSE)
Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Roma, Italia

Tra le varie forme di energia rinnovabile, il settore del fotovoltaico è sicuramente quello che sta vivendo un periodo di forte evoluzione sia dal punto di vista dei materiali usati sia dal punto di vista delle tecnologie di realizzazione. Questo è particolarmente vero nell'ambito del cosiddetto "fotovoltaico organico" dove il materiale attivo che converte la radiazione solare in carica elettrica non è un semiconduttore inorganico come il silicio, ma è formato da molecole organiche. Le proprietà ottiche ed elettroniche di questi materiali organici, come l'assorbimento della radiazione elettromagnetica ed il trasporto di carica, possono essere adattate attraverso una opportuna sintesi chimica e attraverso l'ottimizzazione dei processi di deposizione e dell'architettura del dispositivo. In particolare, la deposizione degli strati attivi può avvenire attraverso semplici processi di evaporazione o in forma di soluzione liquida, utilizzando le comuni tecniche di stampa come getto di inchiostro e serigrafia.

1 Introduzione

La Road Map tracciata dall'Unione Europea in materia di energie rinnovabili prevede che il 38% dell'energia elettrica prodotta nel 2020 sarà di tipo rinnovabile. Tra le varie sorgenti di energia rinnovabile il fotovoltaico avrà il più alto tasso di crescita annuale, intorno al 30% e andrà a coprire circa il 9% dell'elettricità prodotta da tutte le sorgenti di energia rinnovabile [1]. Questo risultato potrà essere raggiunto solo se la ricerca avrà la possibilità di sviluppare nuove soluzioni sia di tipo incrementale, attraverso il miglioramento delle attuali tecnologie, sia di tipo sostanziale con lo sviluppo e l'immissione sul mercato di nuove tecnologie. L'EPIA, European Photovoltaic Industry Association, ha definito una serie di strategie per raggiungere gli obiettivi previsti per il 2020 [2]. Oltre all'incremento dell'efficienza dei moduli al silicio, EPIA identifica nello sviluppo di nuovi materiali e tecnologie un passo cruciale nel raggiungimento di questi obiettivi. Tra questi nuovi concetti, particolare enfasi viene data alle celle di tipo organico o ibrido organico/inorganico. L'utilizzo di materiali organici per i dispositivi elettronici non è del tutto nuovo, anzi è alla base di molti dispositivi che sono già stati introdotti sul mercato come gli OLED (Organic Light Emitting Diodes) che vengono utilizzati nei display di ultima generazione, tra cui i monitor OLED di Sony, Samsung e LG.

L'architettura base delle celle fotovoltaiche organiche è estremamente semplice: una struttura a sandwich composta da un substrato trasparente, generalmente di vetro, ma anche pellicole di plastica flessibile, coperti da sottili ossidi trasparenti conduttivi e uno o più strati di film sottili fotoattivi tra cui uno strato molecolare assorbitore e un elettrodo superiore. Le proprietà elettroniche di questi materiali, tra cui l'assorbimento della luce e il trasporto elettronico, possono essere adattate mediante una opportuna sintesi chimica attingendo da una enorme varietà di configurazioni e modelli molecolari e utilizzando un attento controllo dei parametri di deposizione.

Il grosso vantaggio dei materiali organici risiede nel fatto che questi possono essere depositati su larghe aree sia in soluzione liquida, come veri e propri inchiostri, o attraverso semplici processi di evaporazione. I processi di fabbricazione delle celle, adottando metodologie tipiche dell'industria della stampa, come ad esempio la serigrafia o la stampa a getto di inchiostro, permettono di semplificare il processo produttivo e ridurre, allo stesso tempo, i costi del prodotto finale

e dei macchinari per la produzione. In più, le tecnologie di realizzazione sono facilmente estendibili alla produzione di pannelli su substrati flessibili attraverso processi continui di fabbricazione di tipo roll-to-roll. La possibilità di realizzare celle fotovoltaiche flessibili apre numerosi scenari di notevole impatto e con applicazioni di ogni tipo: dall'integrazione architettonica in edifici e in piccoli dispositivi elettronici, fino all'applicazione su abiti, tende e tessuti.

La tipologia delle celle fotovoltaiche organiche, sviluppate a livello internazionale, è ampia e ciascun tipo di cella si trova ad un differente stadio di sviluppo e maturazione tecnologica. In breve, si hanno celle solari completamente organiche, dove sia i materiali che assorbono la luce solare che quelli che trasportano la carica sono basati su molecole organiche di piccole dimensioni ("small molecules") o su polimeri [3, 4] e celle ibride in cui il mezzo assorbente è una molecola organica o metallo-organica ed il materiale che trasporta la carica è inorganico come nelle celle solari a colorante (Dye Solar Cell, DSC) [5]. Esistono poi tutta una serie di nuove tipologie di celle ibride dove il mix organico/inorganico è opportunamente variato e ottimizzato [6]. Nel loro complesso le celle solari organiche possono raggiungere efficienze di conversione tra il 7% e l'11%, prossime a quelle del silicio amorfo e di altre tecnologie a film sottile.

I principi di funzionamento e le tecnologie di realizzazione delle celle fotovoltaiche organiche saranno il tema di questo articolo, discutendo, ove possibile, i processi di industrializzazione in atto. Particolare enfasi verrà data alle celle ibride di tipo DSC che presentano delle caratteristiche di efficienza e stabilità adeguate per la produzione industriale.

2 Celle solari a colorante (DSC)

Le celle solari a colorante, DSC, sin dalla loro invenzione nei primi anni novanta da parte di O'Regan e Graetzel del Politecnico di Losanna [5], hanno suscitato un enorme interesse nel mondo scientifico per la loro semplicità di fabbricazione e, al tempo stesso, il loro complesso funzionamento basato su fenomeni che coinvolgono eccitazioni ottiche molecolari, trasporto elettronico e ionico, e che si ispira direttamente alla fotosintesi clorofilliana. Questo interesse si è rapidamente esteso anche al mondo industriale per i bassi costi previsti nella produzioni di moduli e pannelli fotovoltaici basati su questa tecnologia.

La struttura di base di una DSC, schematizzata in fig. 1, è composta da un substrato trasparente che può essere un vetro o un polimero su cui è depositato un sottile strato trasparente conduttore (TCO). Su questo substrato viene depositato e successivamente sinterizzato un materiale semiconduttore ad elevata band gap, tipicamente diossido di titanio (TiO_2), sul quale vengono adsorbite le molecole del colorante (dye) che hanno lo scopo di assorbire la luce e produrre la carica elettrica. Il dispositivo viene chiuso con un altro substrato conduttore su cui è depositato un sottile strato catalizzatore e poi incapsulato e riempito con una soluzione elettrolitica.

Il cuore del sistema è rappresentato

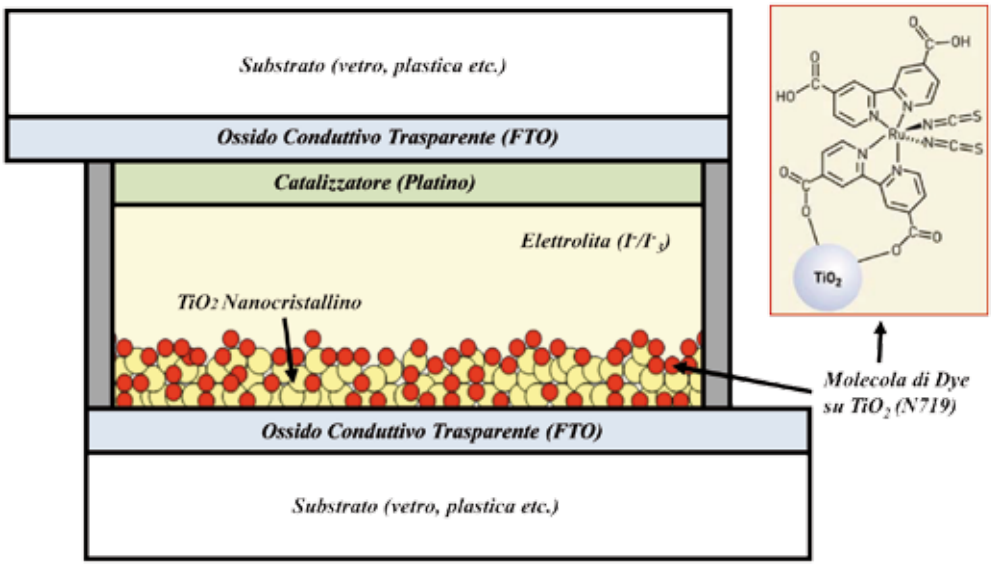


Fig. 1 Rappresentazione schematica della cella fotovoltaica DSC. Nel riquadro è mostrata la molecola di dye (N719) ancorata alla nanoparticella di TiO_2.

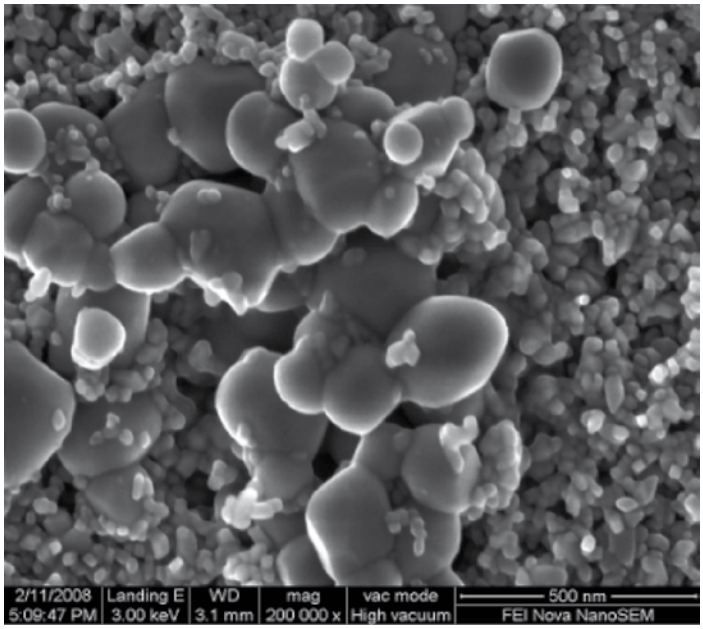


Fig. 2 Immagine al microscopio elettronico del TiO_2 mesoporoso. Nell'immagine i grani più grandi (200–300 μm) sono utilizzati per retro diffondere la luce in modo da aumentare il cammino ottico della radiazione solare all'interno dello strato attivo composto da TiO_2 e dye.

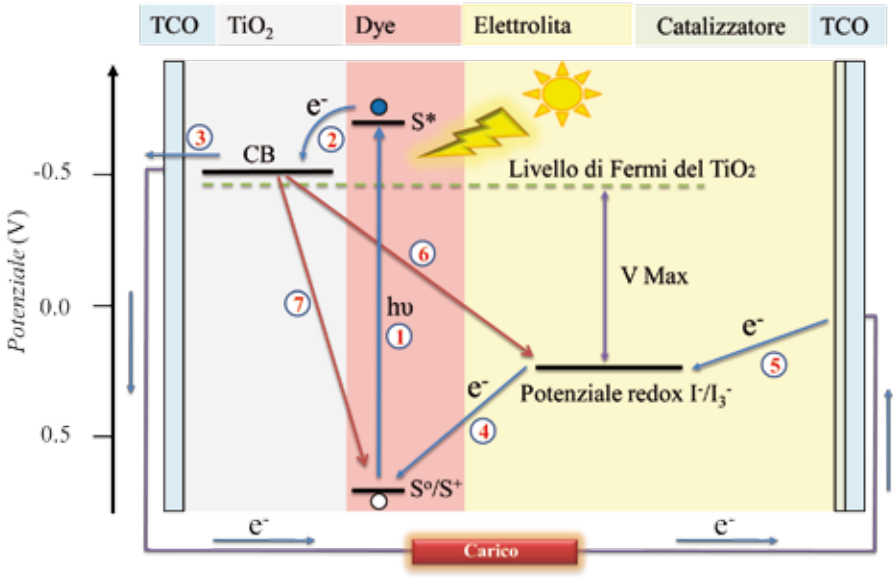


Fig. 3 Principio di funzionamento di una DSC. I diversi processi sono: (1) eccitazione del colorante; (2) iniezione e (3) diffusione di elettroni in banda di conduzione del TiO_2; (4): riduzione del colorante; (5): rigenerazione dell'elettrolita attraverso il contro elettrodo e lo strato catalitico; (6), (7): principali meccanismi di perdita per ricombinazione di elettroni.

dall'elettrodo di TiO_2 su cui è adsorbito lo strato di colorante (sensibilizzatore) che nella formulazione tipica è una molecola metallorganica.
Al fine di aumentare la superficie e conseguentemente l'assorbimento del colorante, il TiO_2 è deposto in forma mesoporosa, come mostrato nella fig. 2, dove i grani dell'ossido hanno dimensioni tipiche di poche decine di nanometri. La funzione del colorante è di assorbire i fotoni della radiazione solare attraverso l'eccitazione di un elettrone da un orbitale molecolare occupato ad uno vuoto (vedi fig. 3). L'elettrone viene velocemente trasferito dallo stato eccitato della molecola colorante alla banda di conduzione del semiconduttore (TiO_2). Una coppia redox, tipicamente I^-/I_3^-, è il componente principale della soluzione elettrolitica che restituisce al colorante l'elettrone ceduto al TiO_2 dopo l'eccitazione. La coppia redox si rigenera al contro-elettrodo, attraverso l'interazione con uno strato catalizzatore (in genere un film nanometrico di platino). In questo modo, la cella solare riesce a trasformare continuamente la radiazione solare in corrente elettrica e quindi energia una volta che un carico è applicato tra i due terminali.
È importante notare che nessuna trasformazione chimica permanente si verifica durante il funzionamento anche se i vari componenti della cella possono essere instabili. Ad esempio, le note capacità fotocatalitiche del TiO_2 indurrebbero una rapida degradazione della molecola del colorante se l'elettrolita non rigenerasse il colorante riportandolo nello stato neutro fondamentale.

I tradizionali coloranti per DSC, come quello mostrato in fig. 1, sono basati su complessi polipiridinici di rutenio [7] con gruppi carbossilici che consentono un facile ancoraggio della molecola sul TiO_2. Lo stato eccitato più basso è a trasferimento di carica e comporta il trasferimento diretto di un elettrone

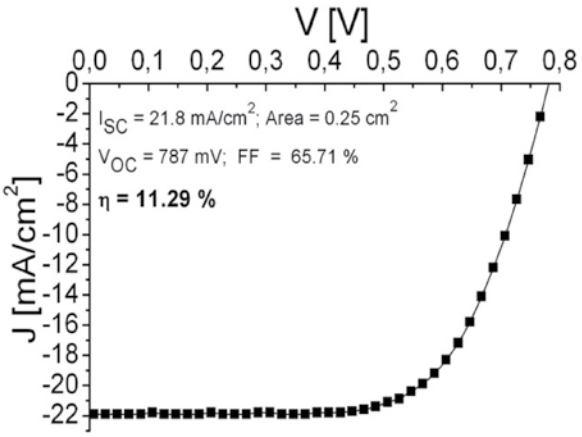


Fig. 4 Caratteristica elettrica di una cella DSC ottimizzata di area 0,25 cm^2 sotto illuminazione di 1000 W/m^2 e spettro solare di tipo AM1.5. Nella figura V_{OC} è la tensione di circuito aperto, I_{SC} la densità di corrente di corto circuito e FF il fill factor definito come il rapporto tra la potenza massima ottenibile e il prodotto $I_{SC} \times V_{OC}$.
I risultati sono ottenuti senza mascheramento della cella (CHOSE).

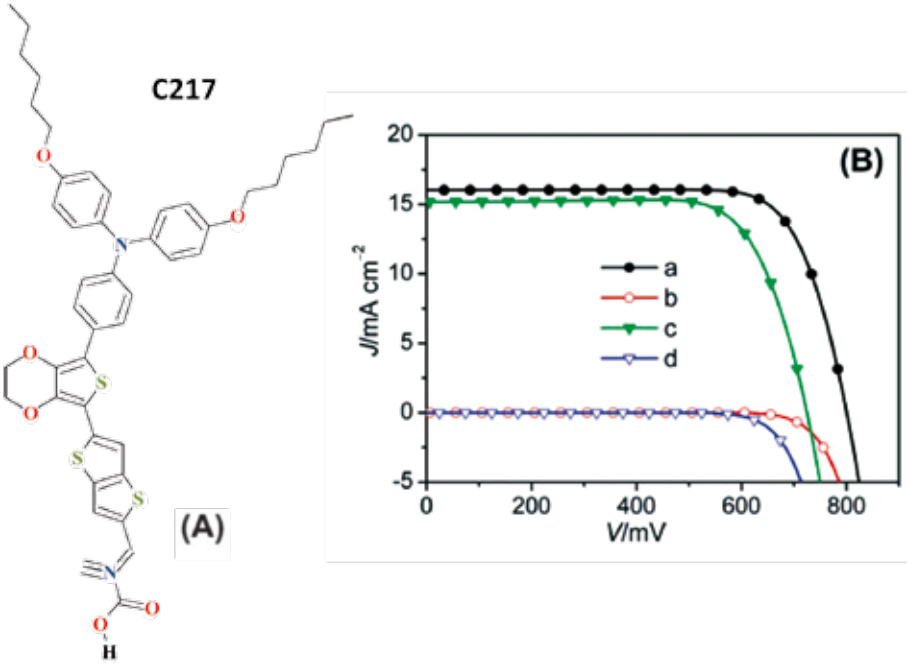


Fig. 5 (A) Struttura molecolare del colorante organico C217; (B) caratteristiche *J-V* della cella con il 9,8% di efficienza con elettrolita liquido volatile standard (a, b) e delle celle con 8,1% di efficienza con elettrolita a base di liquido ionico (c e d). Curve (a), (c) misurate con AM1.5, (b) e (d) misurate al buio. La cella ha un area attiva 0,158 cm^2 e utilizza una pellicola antiriflesso sul fotoanodo. Tratto da [11].

localizzato principalmente sull'atomo di Ru ad un orbitale molecolare del legante carbossil-bipiridinico [8]. Pertanto, le bande di assorbimento del colorante sono dovute alle transizioni di trasferimento di carica da metallo a legante (MLCT) ed un'accurata scelta dei leganti può produrre i livelli di energia e le proprietà redox desiderate. L'introduzione di gruppi leganti elettron-donatori, ad esempio, incrementa la carica sull'atomo di Ru, con conseguente spostamento della transizione MLCT verso la estremità blu dello spettro.

Con questo tipo di sensibilizzatore è stato possibile raggiungere efficienze dell'11% [9] ed una notevole stabilità a lungo termine [10]. Una tipica caratteristica elettrica *J-V*, densità di corrente (*J*) in funzione del potenziale (*V*), di una DSC su piccola area è mostrata in fig. 4. Il raggiungimento di efficienze superiori all'8% è da associare all'ottimizzazione della deposizione del TiO_2 e all'uso di trattamenti sia del substrato che del TiO_2 che tendono a ridurre le ricombinazioni dirette degli elettroni con gli ioni dell'elettrolita (vedi fig. 1).

Oltre ai complessi metallo-organici descritti, è in forte crescita lo sviluppo di sensibilizzatori a colorante completamente organico. I coloranti organici mostrano i) coefficienti di estinzione molto alti, ii) sintesi e processi di purificazione semplici, iii) un notevole potenziale in termini di ingegneria molecolare iv) un costo inferiore rispetto ai complessi a base di rutenio. Ad oggi, l'efficienze di conversione fotovoltaica ottenute con coloranti organici in DSCs hanno raggiunto il 9,8% [11] (vedi fig. 5) con prestazioni incoraggianti di stabilità a lungo termine.

La possibilità di agire, attraverso la sintesi chimica, sulle proprietà delle molecole di colorante permette di controllare alcuni parametri che risultano fondamentali nella fase

Fig. 6 DSC di larga area con diversi colori e diversi pattern (CHOSE).

di progettazioni delle applicazioni fotovoltaiche. Se da un lato il disegno della molecola del colorante può essere guidato dall'ottimizzazione dell'efficienza della cella, dall'altro la richiesta di determinate caratteristiche estetiche, come il colore della cella, può indurre delle progettazioni molecolari specifiche. Questo è di fondamentale importanza quando si pensa alle applicazioni di questa tecnologia nell'ambito del fotovoltaico integrato negli edifici (Building-Integrated Photovoltaics, BIPV). Utilizzando specifiche molecole, opportune formulazioni della pasta di TiO_2 e tecniche di deposizione che permettano la stampa su determinate aree, è possibile realizzare celle che rispondono a dei requisiti architettonici ben precisi. Un esempio di celle DSC di diverso colore e con determinati pattern è mostrato in fig. 6.

L'altro componente fondamentale della cella DSC è l'elettrolita che può essere depositato sia in forma liquida che in forma gel. La scelta più diffusa per massimizzare l'efficienza della cella è la coppia redox ioduro/triioduro (I^-/I_3^-). Nonostante le sue buone prestazioni, gli elettroliti basati su I^-/I_3^- hanno i seguenti svantaggi: lo ione triioduro assorbe una parte significativa della luce visibile quando utilizzato ad alte concentrazioni, il potenziale redox della coppia limita in parte la tensione a circuito aperto disponibile e la sua aggressività verso la grande maggioranza dei metalli rende molto difficile introdurre griglie metalliche di raccolta della carica che permetterebbero di ridurre l'alta resistenza serie del TCO e quindi aumentare i fill factor delle celle. Diverse coppie redox sono state proposte e studiate tra cui, Co(III)/Co(II), Br^-/Br^2 $SCN^-/(SCN)^2$ e $SeCN^-/(SeCN)^2$. In particolare, gli elettroliti a base di cobalto presentano delle buone efficienze a basse intensità di illuminazione, caratteristica che, associata alla loro limitata azione corrosiva nei confronti dei metalli, rende questi composti di interesse nell'ambito delle DSC [12, 13]. Recentemente sono stati presentati nuovi elettroliti organici che riducono l'effetto dell'assorbimento di luce e l'azione corrosiva, mantenendo al tempo stesso l'efficienza della cella attorno al 7% per intensità di 1000 W/m^2 (un sole) [14].

2.1 Dalle celle ai moduli e pannelli

Al fine di raggiungere le tensioni e le correnti necessarie ad un reale utilizzo, le celle fotovoltaiche devono essere opportunamente scalate su larga area e poi collegate elettricamente tra di loro per formare i moduli fotovoltaici. I moduli fotovoltaici possono essere utilizzati singolarmente o collegati in serie o in parallelo per formare pannelli, stringhe e campi fotovoltaici.

Quando si scalano le celle dalle dimensioni di laboratorio, con aree tipicamente di frazioni di cm^2, alle dimensioni di utilizzo (decine di cm^2) o quando si interconnettono le singole celle per formare un modulo, nasce tutta una serie di nuove problematiche. Questi aspetti sono in parte comuni a tutte le tecnologie fotovoltaiche anche se le DSC, essendo dispositivi elettrochimici, introducono ulteriori problemi che richiedono soluzioni specifiche [15]. Questo è il caso, ad esempio, dell'elettrolita che essendo liquido e corrosivo, necessita di un particolare trattamento di contenimento ed incapsulazione.

La realizzazione di celle DSC di larga area, così come per le altre celle organiche, non può avvenire facendo un semplice scaling-up delle dimensioni delle celle di laboratorio. Questo è dovuto alla resistenza dello strato di ossido trasparente conduttivo che per le DSC è tipicamente FTO ($F:SnO_2$), mentre per le altre celle organiche è tipicamente ITO (Indium Tin Oxide). Un semplice calcolo ci permette di capire il fondamentale limite imposto dalla resistenza di questo strato. Al fine di mantenere una trasparenza maggiore del 90% la resistenza superficiale del TCO è dell'ordine di R_{sheet} = 5–10 ohm/quadrato (la resistenza di un campione di TCO di larghezza e lunghezza uguale

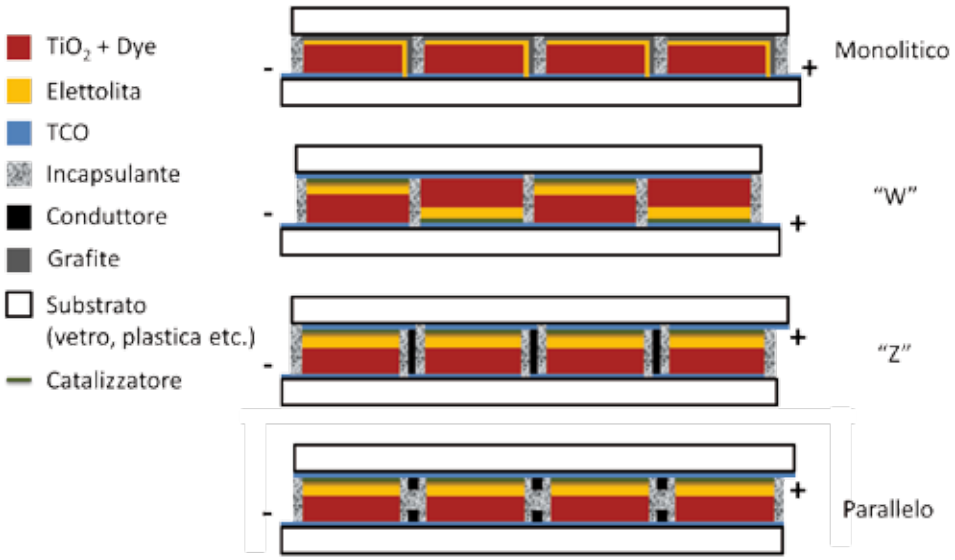


Fig. 7 Diverse topologie di connessione tra celle DSC per la realizzazione di moduli.

che, per la seconda legge di Ohm, ha una resistenza pari a R_{sheet} = resistività/spessore). La caduta di potenziale indotta dalla resistenza del TCO è $\Delta V = J \times L^2 \times R_{sheet}$, dove L è la larghezza della cella e J la densità di corrente fotogenerata. Considerando una densità di corrente tipica delle celle DSC di circa $J = 15$ mA/cm^2 abbiamo che la caduta di tensione è di poche decine di millivolt nelle celle da laboratorio dove $L < 1$ cm, mentre diventa confrontabile con la tensione di circuito aperto per larghezze di cella di qualche centimetro. Dunque, lo scaling dell'area della cella induce una forte riduzione del fill factor e di conseguenza dell'efficienza della cella. Per ovviare a questo inconveniente si realizzano celle con un rapporto larghezza/lunghezza opportuno, in cui la larghezza (distanza tra i due contatti per la raccolta della corrente) è di circa un centimetro, mentre la lunghezza può essere di decine di centimetri.

Le celle così realizzate vanno opportunamente connesse tra di loro nello stesso processo produttivo al fine di fabbricare il modulo fotovoltaico. La connessione, che può essere esterna o integrata, viene effettuata collegando le celle in parallelo, per ottenere correnti più elevate, o in serie, per ottenere tensioni di uscita più elevate. Nel caso di connessione integrata, le celle del modulo sono realizzate contemporaneamente e collegate tra di loro attraverso diverse possibili strategie. Le più comuni sono mostre in fig. 7. Il modulo monolitico è tipicamente utilizzato anche nelle altre tecnologie a film sottile mentre gli schemi "Z" e "W" sono specifici per le DSC. La connessione tipo Parallelo è quella tipica delle celle in silicio, anche se, come già accennato, la presenza di un elettrolita corrosivo induce l'utilizzo di uno strato di incapsulamento, o *sealing primario*, tra elettrolita e griglia di raccolta. L'incapsulamento, comunque presente in tutti gli schemi di connessione, è uno dei problemi più critici nella realizzazione dei moduli DSC in quanto il perfetto isolamento dell'elettrolita dalle altre celle e dai contatti metallici è direttamente correlato al tempo di vita del modulo stesso. I materiali più comuni per l'incapsulante sono le resine termoplastiche come Surlyn and Bynel della DuPont o le fritte di vetro (glass-frit). Un esempio di modulo DSC con connessioni di tipo "Z" è mostrato in fig. 8.

I moduli realizzati con una delle tecnologie descritte vengono poi collegati in serie e in parallelo, assieme ad eventuali opportuni diodi di by-pass, per formare il pannello DSC. In fig. 9 è mostrato un pannello DSC realizzato con 20 moduli DSC ciascuno di area 10 cm × 20 cm.

Una delle caratteristiche peculiari della tecnologia DSC è la risposta, in termini di produzione energetica, alle diverse condizioni di irraggiamento. È noto infatti che le DSC si comportano bene in condizioni di scarsa intensità luminosa e in presenza di illuminazione diffusa [16, 17]. Per questo motivo molte società, tra cui Sony e Sharp, ipotizzano un prevalente utilizzo "indoor" di questa tecnologia. Nelle DSC l'energia elettrica prodotta non aumenta linearmente con l'intensità della luce [18]. L'efficienza ha un massimo ad una intensità di irraggiamento di circa 200 W/m^2, pari ad 1/5 dell'intensità della radiazione solare di riferimento (1 sole), per poi decrescere con l'aumento dell'intensità della radiazione. Una delle cause di questo comportamento è la limitazione nel trasporto di massa degli ioni all'interno dell'elettrolita.
Queste considerazioni suggeriscono che per le DSC, il metodo tradizionale di valutazione della potenza nominale di un modulo basato sul concetto "Watt-picco" (Wp) può portare a una sottostima delle potenziali capacità di produrre energia. Mentre la potenza elettrica per moduli di silicio cristallino standard è comunemente valutata ad una intensità di radiazione di 1 sole e in particolari condizioni di irraggiamento (spettro AM1.5), questa condizione di illuminazione non è quella più frequente per un pannello solare che lavora in condizioni reali all'aperto. Se

Fig. 8 Modulo DSC formato da 7 celle collegate in serie secondo lo schema di connessione "Z" (CHOSE).

Fig. 9 Pannello DSC formato da 4 stringhe poste in parallelo. Ogni stringa è formata da 5 moduli di tipo "Z" connessi in serie (CHOSE).

consideriamo l'energia prodotta in un anno da moduli DSC e da moduli in silicio cristallino, a parità di potenza di picco istallata, si trova che la tecnologia DSC produce in un anno un energia maggiore di circa il 10%–15% rispetto a quella prodotta dal silicio cristallino, come mostrato in fig. 10 [16].

Per quanto riguarda la stabilità della tecnologia DSC, sulla base di fattori di accelerazione standard si osserva che le DSC hanno un tempo di vita medio di 44 anni in condizioni di irraggiamento tipico dell'Europa centrale e 26 anni per l'Europa meridionale [19]. Sebbene queste prove devono ancora essere trasferite ai moduli, i dati ottenuti sono molto promettenti e fanno immaginare che l'uso commerciale di questa tecnologia possa presto divenire realtà.

2.2 Industrializzazione della tecnologia DSC

Varie società hanno iniziato un percorso di industrializzazione della tecnologia DSC. La Sony ha sviluppato un modulo con connessione "Z" di circa 18 cm^2 di efficienza pari all' 8,2%, mentre la Sharp ha sviluppato un modulo "W" con efficienza dell' 8,2% su un area di 26,47 cm^2. Il record appartiene all'Università di Tokio, dove il team del Prof. Arakawa ha realizzato moduli paralleli di efficienza pari al 9,5% su dimensioni di 84,8 cm^2. Andando su dimensioni maggiori troviamo la società Israeliana 3G Solar che ha sviluppato una cella con connessioni parallele di 225 cm^2 e con efficienza del 5,2%, l'istituto Fraunhofer di Freiburg (Germania) con moduli di 30×30 cm^2 con efficienze del 5% e la società Fujikura che ha sviluppato un modulo serie/parallelo di 30×33 cm^2 con efficienza del 6,2 %. In particolare la Fujikura ha recentemente annunciato che il suo modulo ha passato tutti i test previsti per la certificazione.

Per quanto riguarda lo sviluppo di linee di produzione, recentemente la Dyesol ha annunciato il primo prodotto della linea prototipale che sta sviluppando assieme a Corus (UK) per la fabbricazione di moduli DSC su substrato di acciaio per applicazioni di copertura industriale, mentre la G24i, società inglese con stabilimento a Cardiff, ha sviluppato una linea di produzione di tipo roll-to-roll e sta introducendo sul mercato i primi prodotti di dimensioni ridotta.

In Italia, il consorzio Dyepower nasce per industrializzare il processo di fabbricazione dei moduli DSC per applicazioni in facciate continue di vetro, attività che rientra nell'ambito dell'integrazione architettonica del fotovoltaico (BIPV). Le caratteristiche di semitrasparenza, controllo dei colori e adattamento architettonico, rendono le celle e moduli DSC ideali per l'utilizzo nelle facciate di vetro.

3 Celle fotovoltaiche polimeriche

La struttura base di queste celle, mostrata in fig. 11, è costituita da un sandwich in cui lo strato attivo è posto tra un substrato trasparente, rigido o flessibile, su cui è depositato uno strato di ossido conduttivo trasparente e da una metallizzazione che funge da controelettrodo.

Il principio di funzionamento del dispositivo si può dividere nei

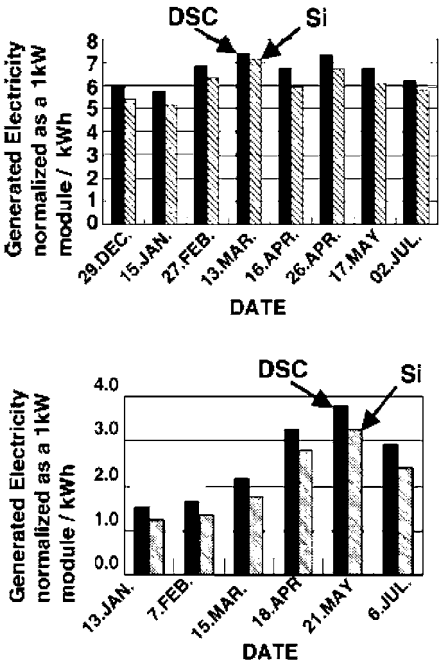


Fig. 10 Confronto delle prestazioni tra moduli DSC e silicio cristallino: (sopra) giornata di sole, (sotto) giornata nuvolosa; i moduli hanno la stessa potenza elettrica di picco nominale. Tratto da [16].

Fig. 11 Schema di cella solare organica di tipo polimerico.

seguenti processi fondamentali: 1) fotoeccitazione di una coppia elettrone-lacuna, 2) separazione di carica, 3) trasporto di carica, 4) raccolta delle cariche ai contatti.

Nel caso dei materiali organici la fotoeccitazione, diversamente da quanto avviene nei semiconduttori inorganici in condizioni operative reali, non porta alla separazione diretta tra elettrone e lacuna, ma alla creazione di un eccitone, cioè una coppia elettrone-lacuna legati tra di loro. Poiché l'energia del legame dell'eccitone è dell'ordine di centinaia di meV, molto maggiore dell'energia termica, a temperatura ambiente ed in un materiale omogeneo, solo una piccola frazione di coppie si dissocia rendendo il processo fotovoltaico inefficiente. Al fine di agevolare la dissociazione dell'eccitone prima che avvenga la ricombinazione dell'elettrone con la lacuna, è necessario introdurre una superficie di separazione attraverso, ad esempio, una giunzione tra materiali diversi. Questo è realizzabile utilizzando un doppio strato formato da un materiale donore ed un materiale accettore. Utilizzando questo doppio strato è possibile separare gli eccitoni utilizzando la differenza di affinità elettronica e di potenziale di ionizzazione dei materiali che compongono i due strati. Tipicamente il materiale donore è quello in cui si verifica il processo di assorbimento ed è quello attraverso il quale avviene il trasporto di lacune, mentre il materiale accettore è quello in cui vengono iniettati e trasportati gli elettroni una volta dissociato l'eccitone.

Il fattore limitante nelle celle a doppio strato è rappresentato dallo spessore del materiale attivo. Per avere un assorbimento significativo della radiazione luminosa è necessario che lo spessore del materiale sia dell'ordine di grandezza della lunghezza di assorbimento (circa 100 nm). Tuttavia, la tipica lunghezza di diffusione dell'eccitone è dell'ordine 10 nm per cui, una volta creati, la maggior parte degli eccitoni non riescono a raggiungere l'interfaccia di separazione tra i due materiali e, di conseguenza, non vengono dissociati. Un'efficace soluzione al problema della diffusione/dissociazione dell'eccitone è stata trovata a metà degli anni novanta grazie all'introduzione del concetto di bulk-heterojunction (BHJ) [3, 4].

Nella BHJ, il donore e l'accettore sono mescolati insieme formando così una forte compenetrazione tra i due materiali ed una maggiore superficie di separazione che non sarà più planare, ma distribuita nello spazio (vedi fig. 12).

In questo caso, poiché le dimensioni tipiche della miscela sono simili alla lunghezza di diffusione eccitonica, i processi di ricombinazione vengono notevolmente ridotti, fin quasi ad ottenere per ogni eccitone generato una dissociazione all'interfaccia.

Una cella polimerica BHJ ha la tipica struttura a "sandwich" di fig. 11. Il substrato trasparente e di solito in vetro oppure in plastica, tipo PET (Poly Ethylene Terephthalate) per le applicazioni flessibili. Questo strato, attraverso il quale filtra la luce solare, deve essere il più possibile trasparente e sottile, onde evitare diffrazioni e riflessioni. Sul substrato è presente uno strato di ossido conduttivo trasparente; nelle bulk-heterjunction di solito viene usato l'ITO il quale svolge

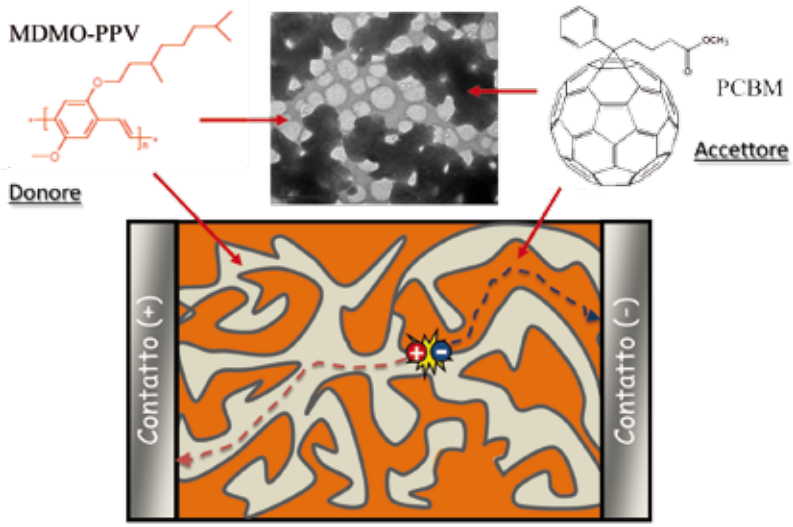


Fig. 12 Principio di funzionamento di una cella solare polimerica di tipo bulk-heterojunction.

il ruolo di anodo (+) di raccolta per le cariche positive. Sull'anodo è in genere depositato uno strato che facilita il trasporto delle lacune (HTL-Hole Transporting Layer). Si utilizza il PEDOT-PSS (PolyEthylene Dioxythiophene-Polistyrenesulfonate), un polimero conduttore trasparente, che svolge la funzione sia di planarizzazione dello strato di TCO, consentendo di conseguenza una deposizione più uniforme dello strato attivo, sia di interfaccia per il trasferimento di lacune dallo strato attivo all'anodo. Questo materiale evita inoltre l'ossidazione del polimero fotoattivo, che altrimenti starebbe in diretto contatto con l'elettrodo. Per quanto riguarda lo strato attivo, diverse miscele polimeri/fullereni sono state sperimentate e quella con P3HT (il poly(3-hexylthiophene)) e PCBM (1-(3-methoxy-carbonyl) propyl-1-phenyl [6,6] C61) risulta avere le migliori prestazioni in termini di facilità di lavorazione, efficienza e durata, producendo efficienze su piccola area tra il 5% ed il 7% [20, 21]. Il catodo per la raccolta di elettroni è tipicamente metallico e costituito da materiali con adeguata funzione lavoro quali alluminio (Al), o calcio (Ca), fosfuro di litio (LiF) e argento.

Sono diversi i fattori che consentono l'ottimizzazione delle caratteristiche di questi dispositivi. Per quanto riguarda il materiale attivo, l'attenzione è incentrata sull'allargamento dello spettro di assorbimento e sulla sintesi di materiali in grado di auto-organizzarsi in modo tale da garantire un aumento del grado di ordine e quindi di facilitare il trasporto di carica. A parità di materiali utilizzati poi, l'interfaccia tra accettore e donore è fortemente influenzata dalla scelta del solvente, così come dalla temperatura del substrato nel momento della deposizione, da eventuali condizioni di saturazione in cui viene depositato il film e dai processi post trattamento in temperatura (annealing). L'ottimizzazione di questi parametri contribuisce a migliorare la compenetrazione tra il materiale accettore e quello donore. Il trattamento in temperatura successivo alla realizzazione del film favorisce anche una migliore adesione tra il contatto metallico ed il layer attivo, portando ad un miglioramento dell'efficienza dei contatti. Utilizzando le ottimizzazioni descritte e opportuni materiali, la società Solarmer ha certificato nel 2010 un record di efficienza, su celle di piccola area, di 8,13%.

A questo approccio di ottimizzazione chimico-fisica si affianca l'ingegnerizzazione del dispositivo che trova, nell'utilizzo di celle tandem, una possibile soluzione per aumentare lo spettro di assorbimento della cella. Queste celle sono realizzate attraverso la connessione in serie di due sottocelle con spettri di assorbimento complementari. Entrambe le celle, se considerate separatamente, avranno la propria fotocorrente, indotta dalla radiazione incidente, e la propria tensione di circuito aperto, caratteristica dei materiali utilizzati. Una volta realizzata la cella tandem, la tensione di circuito aperto sarà pari alla somma tra le due tensioni di circuito aperto, mentre la fotocorrente sarà data dal valore minore della corrente che scorre in ogni cella se considerata singolarmente. Questo tipo di cella

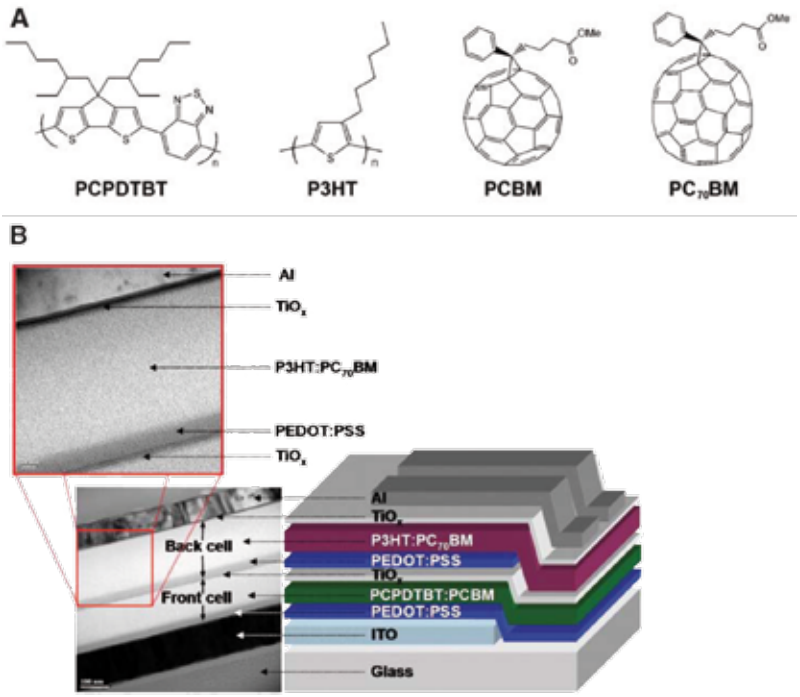


Fig. 13 Cella solare polimerica di tipo tandem e struttura molecolare dei composti organici utilizzati. Tratto da [20].

Fig. 14 Moduli e pannelli fotovoltaici polimerici realizzati da Konarka. Tratto da [23].

solare polimerica ha raggiunto un valore di efficienza del 6,5% con la struttura mostrata nella fig. 13 [20], in cui l'anodo è rappresentato da un substrato di vetro coperto da ITO, il primo strato attivo è costituito da una BHJ di PCPDTBT-$PC_{60}BM$, lo strato di ricombinazione è in TiO_x coperto da PEDOT-PSS, la seconda cella è costituita da P3HT:$PC_{70}M$. Il catodo è realizzato da un bilayer di TiO_x e alluminio.

Calcoli teorici mostrano che con celle tandem è possibile raggiungere efficienze dell'ordine del 15% a fronte di un'opportuna ingegnerizzazione delle proprietà elettroniche ed optoelettroniche dei materiali.

Anche se l'aumento dell'efficienza rappresenta un passo importante nella direzione dell'industrializzazione, la scommessa fondamentale per questa tecnologia è legata ai tempi di vita, alla stabilità dei dispositivi ed alla capacità di scalare i processi di fabbricazione su larga area.

L'incapsulamento rappresenta una delle criticità maggiori. Usando come barriera all'ossigeno ed all'umidità il vetro è stata dimostrata una diminuzione del 10 % delle caratteristiche iniziali della cella dopo 1500 h di illuminazione continuata equivalenti a circa 1,5 anni di esposizione in condizioni reali. Questa soluzione, per quanto efficace, fa venire tuttavia meno la caratteristica fondamentale delle celle polimeriche ovvero la flessibilità. Utilizzando opportuni substrati multistrato, dotati di barriere all'umidità e all'ossigeno, è possibile incapsulare efficacemente anche le celle polimeriche flessibili. L'utilizzo di queste metodologie di isolamento permette alle celle polimeriche di sopravvivere in condizione di esposizioni outdoor per oltre un anno, senza perdita di efficienza [22].

Passare dalla cella al modulo, attraverso l'opportuna connessione serie/parallelo delle celle, è l'aspetto fondamentale affiché questa tecnologia venga trasferita dai laboratori di ricerca alla produzione industriale. Ad oggi, le migliori efficienze certificate per moduli polimerici sono state dell' 1,1% su un'area totale di 233 cm^2 e del 2,4% su un' area attiva di 108 cm^2. La società Konarka, che opera già da diverso tempo nell'ambito del fotovoltaico organico di tipo polimerico, ha presentato nel corso del 2009 il primo pannello fotovoltaico polimerico disponibile sul mercato chiamato "Power Plastic" (fig. 14). Anche se l'efficienza è ancora limitata, attorno al 2%, è stata dimostrata la capacità di produrre industrialmente questi pannelli. Questo rappresenta un notevole passo in avanti verso una reale diffusione del fotovoltaico organico.

4 Celle solari organiche di tipo "small molecule"

Le celle solari organiche realizzate con molecole di piccolo peso molecolare (small molecule) hanno attratto l'attenzione fin da quando, nel 1986, Tang riuscì ad ottenere un efficienza dello 0,95%, ben superiore ai risultati ottenuti fino ad allora [24]. La novità principale introdotta da Tang, che ha portato ad un incremento drammatico dell'efficienza, è stata l'introduzione

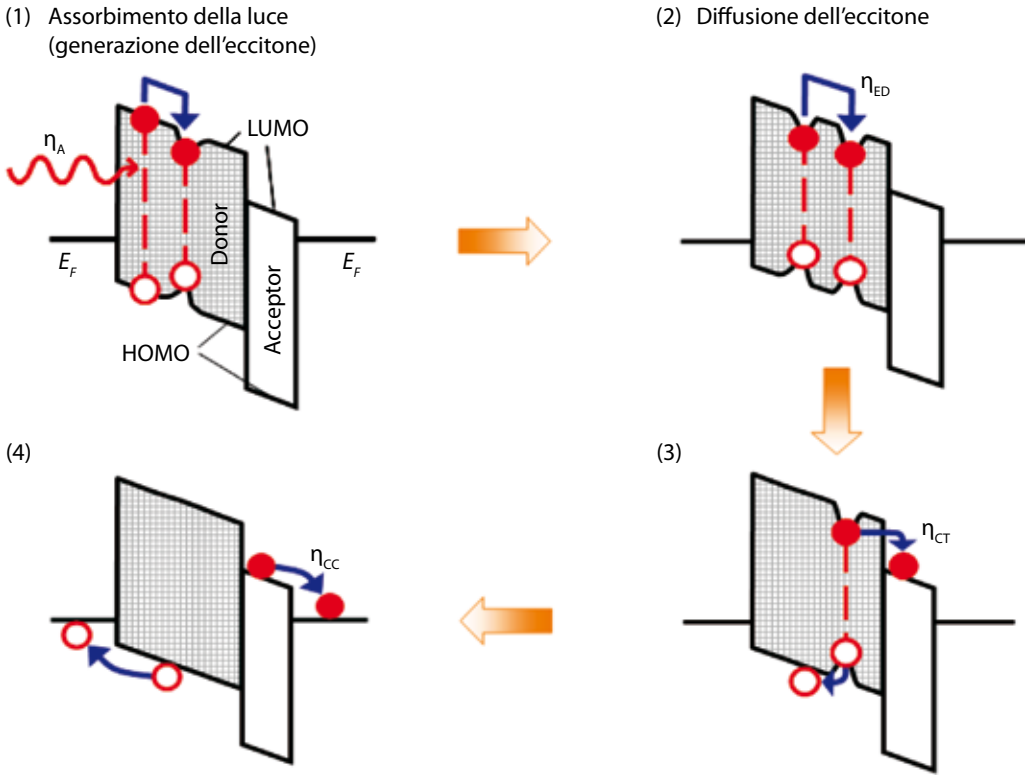


Fig. 15 Diagramma dei livelli energetici, per l'"Highest Occupied Molecular Orbital" (HOMO) e per l'"Lowest Unoccupied Molecular Orbital" (LUMO), nel doppio strato donore / accettore (DA) di una cella solare organica di tipo "small molecule" durante il processo di assorbimento e generazione: (1) assorbimento di fotoni e generazione dell'eccitone, (2) diffusione dell'eccitone alla giunzione DA, (3) dissociazione dell'eccitone e (4) trasporto della carica attraverso gli strati DA e raccolta agli elettrodi. Nella figura, η_A, η_{ED}, η_{CT}, η_{CC} rappresentano rispettivamente le efficienze di assorbimento, di diffusione dell'eccitone, di trasferimento della carica all'interfaccia e di collezione. Tratto da [25].

di un doppio strato composto da una eterogiunzione donore / accettore (DA), come già discusso nel caso delle celle polimeriche. Su un substrato di vetro rivestito di ITO viene depositato, per evaporazione, un sottile strato (30 nm) di ftalocianina di rame, CuPc. La CuPc, che ha un carattere donore, è il principale materiale assorbente con alti coefficienti di assorbimento nel visibile ($>10^5$ cm^{-1}) e con buone mobilità per il trasporto di carica ($\mu \approx 0{,}02$ cm^2/Vs). Un secondo strato, l'accettore, un derivato del perilene tetracarbossilico anch'esso spesso qualche decina di nanometri, è depositato sopra lo strato di CuPc. La cella è completata con un elettrodo superiore in Ag evaporato. L'interfaccia DA permette un'efficiente dissociazione di eccitoni rispetto a quella possibile con un unico strato organico. In fig. 15 sono mostrati schematicamente i processi coinvolti nella generazione di fotocorrente in una cella organica ad eterogiunzione DA.

La fabbricazione di queste celle solari organiche può essere realizzata utilizzando diverse tecniche di deposizione sotto vuoto tra cui la deposizione a fascio molecolare organico (OMBD), l'evaporazione termica (TEV), e la deposizione in fase vapore (OVPD) [26, 27]. Questi processi sono privi di solventi e quindi permettono una facile fabbricazione di dispositivi multistrato, cosa critica nelle celle polimeriche dove la deposizione di uno strato deve avvenire utilizzando un solvente che non solubilizza lo strato sottostante.

La ftalocianina di rame (CuPc) ed i suoi derivati rimangono i materiali donori preferenziali in quanto hanno un alto coefficiente di assorbimento, anche se con uno spettro non molto ampio, e sufficiente mobilità di carica per le lacune. Come materiale accettore, il fullerene, C_{60}, è diventato la scelta di riferimento a causa dell'affinità elettronica relativamente alta, della grande lunghezza di diffusione eccitonica e delle buone proprietà di trasporto degli elettroni. Un terzo strato di blocco degli eccitoni (EBL) è di solito inserito tra lo strato accettore ed il catodo. L'EBL svolge diversi ruoli, il più importante dei quali è quello di prevenire i danni agli strati attivi durante la deposizione del catodo. Questo permette la riduzione della ricombinazione degli eccitoni all'interfaccia accettore / catodo ed evita anche la formazione di difetti all'interno degli strati organici che possono portare ad una elevata resistenza tra l'elettrodo ed il C_{60} [27]. La batocuproina (BCP) funziona particolarmente bene come EBL e migliora drasticamente il trasporto di elettroni verso l'elettrodo di Al [28].

Un dispositivo ad alta efficienza sviluppato da Xue *et al*. alla Princeton University è mostrato, insieme con i suoi diagrammi energetici, in fig. 16 [29]. Nella fabbricazione di questa cella solare è stata utilizzata anche l'eterogiunzione diffusa di tipo bulk-heterojunction, di concezione simile a quella polimerica, per aumentare la frazione di eccitoni fotogenerati che vengono dissociati. In dispositivi basati su molecole a basso peso molecolare, il donore e l'accettore sono co-evaporati per

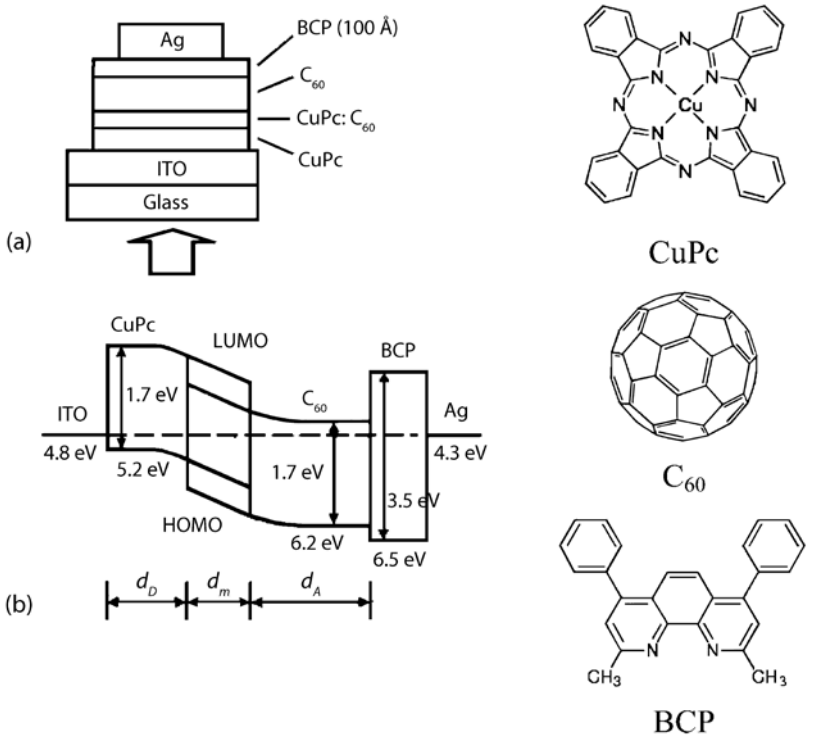


Fig. 16 (a) struttura schematica di una cella fotovoltaica organica ad eterogiunzione ibrida planare-bulk-heterojunction(PM-HJ) che impiega le molecole donore CuPc, e l'accettore C_{60}. Come anodo è stato utilizzato ossido di indio e stagno, ITO, e batocuproina (BCP) come strato di blocco per gli eccitoni. La freccia indica la direzione della luce incidente. (b) Diagramma dei livelli energetici della cella ibrida PM-HJ in presenza di luce. Gli spessori degli strati donore, misto, ed accettore per le celle più efficienti sono rispettivamente d_D = 15 nm, d_m = 10 nm e d_A, = 35 nm. Tratto da [29].

formare una rete compenetrante che forma un interfaccia DA spazialmente distribuita nella maggior parte del film. In questo modo gli eccitoni possono raggiungere l'interfaccia e dissociarsi prima di ricombinarsi. Nell'esempio di fig. 16, questo strato misto è posto tra gli strati CuPc e C_{60} ciascuno dei quali ha uno spessore pari alla lunghezza di diffusione eccitonica. Con questa struttura è stata raggiunta un'efficienza di conversione del 5%.

Le tecnologie di ingegnerizzazione del dispositivo fotovoltaico discusse nelle sezioni precedenti possono essere applicate anche al campo della celle solari organiche di tipo small molecule. In particolare, la struttura tandem può essere facilmente realizzata considerando il fatto che vengono utilizzati processi di evaporazione. La strategia tandem rappresenta anche una possibile soluzione per i dispositivi in cui la riduzione dello spessore dello strato attivo, necessaria per avere un lunghezza di diffusione degli eccitoni confrontabile con lo spessore dello strato attivo, ne diminuisce la capacità di assorbire la luce incidente [30]. Attraverso le celle tandem è possibile raggiunger i record di efficienza per questo tipo di celle organiche che ad oggi sono dell'ordine del 7,7%, come riportato recentemente dalla società Heliatek. Per quanto riguarda i tempi di vita di queste celle c'è da dire che i pochi studi effettuati mostrano un degrado tra il 3% e il 6% dopo 1400 h [31] e 6100 h [32], rispettivamente.

L'industrializzazione delle celle solari organiche di tipo small molecule non è ancora stata affrontata in maniera sistematica. Questo è principalmente dovuto alla limitata efficienza che questi dispositivi hanno dimostrato negli scorsi anni rispetto alle celle DSC e polimeriche. I recenti annunci di celle con efficienza paragonabile a quella delle celle polimeriche ha sicuramente avuto l'effetto di attirare l'attenzione industriale. C'è da dire che, a differenza delle tecnologie DSC e polimeriche, il fotovoltaico organico di tipo small molecule può svilupparsi utilizzando le procedure di industrializzazione simili a quelle degli OLED e dei display basati su OLED. Dunque, è possibile immaginare che questo tipo di fotovoltaico, che ha avuto uno sviluppo fino ad ora più limitato, possa essere industrializzato più velocemente.

5. Conclusioni

Come si è visto in questo articolo, la tecnologia fotovoltaica organica, sia di tipo completamente organico che ibrida organico/inorganico, ha avuto negli ultimi anni un impressionante sviluppo, non solo di base ma anche di tipo pre-industriale. Molti delle problematiche iniziali, come la bassa efficienza, stabilità e durata nel tempo, hanno visto dei miglioramenti molto significativi, facendo si che alcuni prodotti di nicchia sono già commercialmente disponibili e molti altri sono in via di sviluppo. Il fotovoltaico organico, così come tutte le tecnologie basare sui semiconduttori organici, rappresenta anche un interessante esempio di problema multidisciplinare dove

chimici, fisici ed ingegneri sono chiamati ad una azione congiunta per affrontare e risolvere i vari problemi che si presentano e per ottimizzare i dispositivi. È proprio questo aspetto multidisciplinare che rende lo studio e la ricerca in quest'ambito affascinante.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano la Regione Lazio, il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e l'Università di Roma "Tor Vergata" per il supporto finanziario. Un particolare ringraziamento va a tutti i dottorandi e post-doc di CHOSE.

Bibliografia

[1] *Renewable Energy Road Map*, "*Renewable energies in the 21st century: Building a more sustainable future*". Communication from the commission to the council and the European Parliament, 10 January 2007.
[2] EPIA Roadmap, June 2004, http://www.epia.org/fileadmin/EPIA_docs/publications/epia/EPIAroadmap.PDF
[3] J. Halls, C. Walsh, N. Greenham, E. Marseglia, R. Friend, S. Moratti, A. Holmes, *Nature,* 376 (1995) 498.
[4] G. Yu, J. Gao, J. Hummelen, F. Wudl, A. Heeger, *Science,* 270 (1995) 1789.
[5] B. O'Regan, M. Grätzel, *Nature*, 353 (1991) 737.
[6] W. Huynh, J. Dittmer, A. Alivisatos, *Science,* 295 (2002) 2425.
[7] M. Nazeeruddin, A. Kay, I. Rodicio, R. Humphry-Baker, E. Müller, P. Liska, N. Vlachopoulos, M. Grätzel, *J. Am. Chem. Soc*., 115 (1993) 6382.
[8] K. Kalyanasundaram, M. Grätzel, *Coordination Chem. Rev*., 177 (1998) 347.
[9] M. Nazeeruddin, F. De Angelis, S. Fantacci, A. Selloni, G. Viscardi, P. Liska, S. Ito, B. Takeru, M. Gratzel, *J. Am. Chem. Soc*., 127 (2005) 16835.
[10] D. Kuang, S. Ito, B. Wenger, C. Klein, J. Moser, R. Humphry-Baker, S. Zakeeruddin, M. Gratzel, *J. Am. Chem. Soc*., 128 (2006) 4146.
[11] G. Zhang, H. Bala, Y. Cheng, D. Shi, X. Lv, Q. Yu, P. Wang, *Chem. Commun*., 16 (2009) 2198.
[12] S. Sapp, C. Elliott, C. Contado, S. Caramori, C. Bignozzi, *J. Am. Chem. Soc*., 124 (2002) 11215.
[13] M. Liberatore, L. Burtone, T. Brown, A. Reale, A. Di Carlo, F. Decker, S. Caramori, C. Bignozzi, *Appl. Phys. Lett*., 94 (2009) 173113.
[14] M. Wang, N. Chamberland, L. Breau, J.-E. Moser, R. Humphry-Baker, B. Marsan, S. M. Zakeeruddin & M. Grätzel, *Nat. Chem*., 2 (2010) 385.
[15] A. Di Carlo, A. Reale, T. Brown, M. Cecchetti, F. Giordano, G. Roma, M. Liberatore, V. Miruzzo, V. Conte, in: I. A. Luk'yanchuk, D. Mezzane (Editors), "*Smart Materials for Energy*", "*Communications and Security*" (Springer) 2008, p. 97.
[16] T. Toyoda, T. Sano, J. Nakajima, S. Doi, S. Fukumoto, A. Ito, T. Tohyama, M. Yoshida, T. Kanagawa, T. Motohiro, *J. Photochem. & Photobiol. A: Chemistry,* 164 (2004) 203.
[17] N. Kato, Y. Takeda, K. Higuchi, A. Takeichi, E. Sudo, H. Tanaka, T. Motohiro, T. Sano, T. Toyoda, *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 93 (2009) 893.
[18] K. Hara, T. Horiguchi, T. Kinoshita, K. Sayama, H. Sugihara, H. Arakawa, *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 64 (2000) 115.
[19] H. Desilvestro, *DSC-IC Conference on the Industrialization of DSC technology, Nara, Japan, 2009*.
[20] J. Y. Kim, K. Lee, N. Coates, D. Moses, T. Nguyen, M. Dante, A. Heeger, *Science*, 317 (2007) 222.
[21] W. Ma, C. Yang, X. Gong, K. Lee, A. Heeger, *Adv. Funct. Mater.,* 15 (2005) 1617.
[22] J. Hauch, P. Schilinsky, S. Choulis, R. Childers, M. Biele, C. Brabec, *Solar energy mat. solar cells,* 92 (2008) 727.
[23] http://www.konarka.com/media/pdf/konarka_info_sheet_BIPV.pdf
[24] C. Tang, *Appl. Phys. Lett.,* 48 (1986) 183.
[25] S. Forrest, *MRS Bull*., 30 (2005) 28.
[26] S. Forrest, *Chem. Rev.,* 97 (1997) 1793.
[27] B. Rand, J. Genoe, P. Heremans, J. Poortmans, *Progr. Photovolt.: Res. Appl*.,15 (2007) 659.
[28] M. Vogel, S. Doka, C. Breyer, M. Lux-Steiner, K. Fostiropoulos, *Appl. Phys. Lett.,* 89 (2006) 163501.
[39] J. Xue, B. Rand, S. Uchida, S. Forrest, *J. Appl. Phys*., 98 (2005) 124903; *Adv. Mater*., 17 (2005).
[30] A. Mayer, S. Scully, B. Hardin, M. Rowell, M. McGehee, *Mater. Today*, 10 (2007) 28.
[31] R. Franke, B. Maennig, A. Petrich, M. Pfeiffer, *Solar Energy Mater. Solar Cells*, 92 (2008) 732.
[32] W. Potscavage, S. Yoo, B. Domercq, B. Kippelen, *Appl. Phys. Lett*., 90 (2007) 253511.

Aldo Di Carlo
Aldo Di Carlo si è laureato in Fisica presso l'Università "Sapienza" di Roma ed ha ottenuto il Dottorato di Ricerca presso il Politecnico di Monaco di Baviera (Germania). Attualmente è Professore Associato presso il Dipartimento di Ingegneria Elettronica dell'Università di Roma Tor Vergata e co-Direttore del Center for Hybrid and Organic Solar Energy (CHOSE). Le sue ricerche vertono principalmente sui dispositivi opto e nano-elettronici, la loro analisi e la loro ottimizzazione. Aldo Di Carlo è coordinatore di diversi progetti europei e nazionali, autore/coautore di più di 200 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali, e di diversi brevetti internazionali.

THE TABLETOP MEASUREMENT OF THE HELICITY OF THE NEUTRINO

LEE GRODZINS[1]
MIT, Cambridge, MA, USA
American Science & Engineering, Billerica, MA, USA

This paper is dedicated to Maurice Goldhaber[2]

Fifty-two years ago, Maurice Goldhaber, Lee Grodzins and Andrew Sunyar experimentally determined that the spin of the neutrino is antiparallel to its momentum. The ingenious experiment was done in a few weeks, for a few thousand dollars, using equipment that fit on a small table. Here is the story of the two years of seemingly unrelated ideas and experiments that came to a focus during those few weeks.

Figure 1 shows a photograph of the Goldhaber, Grodzins and Sunyar (GGS) experiment that established that the neutrino's helicity is negative. The result proved that beta decay proceeds via the axial vector and vector modes.

Figure 1 shows the main components on a stool. An electromagnet polarimeter, with a radioactive source of europium-152 centered in a hole on top, sat on a conical lead absorber that prevented direct radiation from entering the NaI(Tl) gamma-ray detector below. The detector, in an iron and mu-metal shield, was surrounded by a hollow, truncated cone filled with samarium. The ^{152}Sm in the samarium only "saw" ^{152}Eu gamma rays that had passed through the magnet. The detector only "saw" fluoresced gamma rays from the truncated cone. The helicity of the neutrinos was determined by measuring the change in the count rate as the magnetic field in the iron flipped from pointing up to pointing down. The method was ingenious, the results unambiguous. The intense weeks to completion were in fact the culmination of two years of seemingly unrelated ideas and experiments. Here is my recollection of those two years, written without my lab notebooks and with the obligatory cautions about fallible memory of events that took place long ago.

From my point of view, the thread that weaves through this story begins in the1930's when Wen Yu Zhang came from China to the Cavendish Laboratory to study with Earnest Rutherford. When Rutherford died in 1937, Zhang became James Chadwick's student. In practice, however, he was mentored by Maurice Goldhaber. Maurice, a year younger than Zhang and still a graduate student, was working with James Chadwick, the discoverer of the neutron. Maurice was a star pupil having conceived of the photodisintegration of the deuteron, which Chadwick verified experimentally.

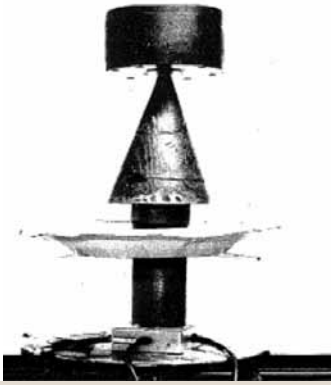


Fig. 1 Set-up of the GGS tabletop experiment.

[1] Professor of Physics Emeritus of MIT and Senior Fellow of American Science & Engineering.

[2] Now 99 years old.

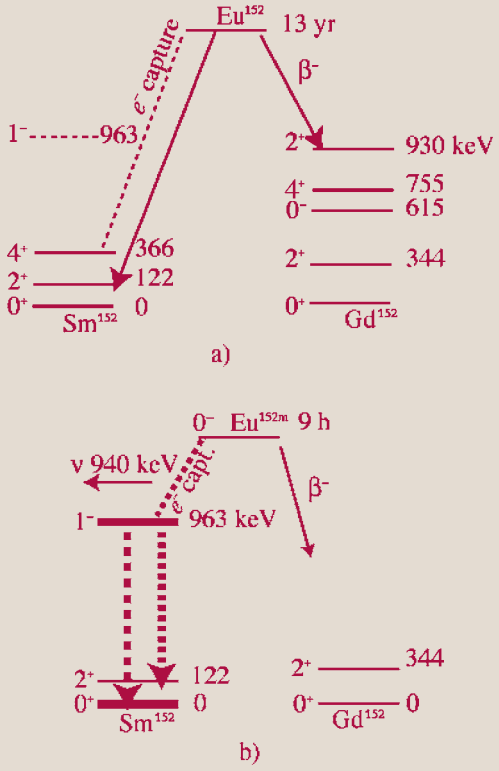


Fig. 2 The levels scheme of ^{152}Sm and ^{152}Gd emphasizing the relevant transitions.

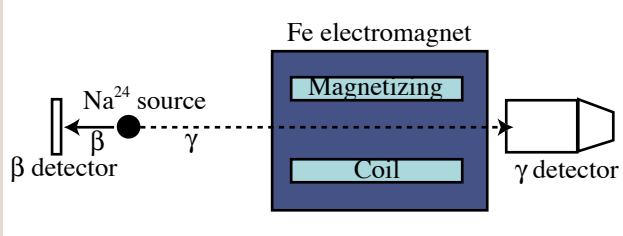


Fig. 3 A schematic of the βγ coincidence measurement and electromagnetic polarimeter.

In 1950, Maurice Goldhaber left his Professorship at the University of Illinois to take a position at Brookhaven National Laboratories. At about the same time, Zhang joined the physics Department of Purdue University where I was a graduate student. When I finished my PhD under Zhang's supervision, he recommended me to Goldhaber.

Goldhaber replied positively to my application but regretted that he would not have an open position for another year. Zhang's admiration for Goldhaber must have been very persuasive for I stayed at Purdue as an Instructor until the position opened up.

I arrived at Brookhaven in January, 1955. Goldhaber, a good-idea-every-day scientist (sometimes two), suggested that I compare the nuclear spectroscopy of nuclei with 88 neutrons to those with 90 neutrons. We now know that isotopes with an even number of protons and 88 neutrons, such as $^{88}_{62}$Sm and $^{88}_{64}$Gd, have spherical ground shapes, while those with 90 neutrons, such as $^{90}_{62}$Sm and $^{90}_{64}$Gd have spheroidal ground shapes, and we know why. In 1955, the evidence was sparse, the understanding primitive. $^{152}_{63}$Eu was an ideal candidate for this study since it was easily produced in a reactor and decayed by electron beta decay to $^{88}_{64}$Gd, with 88 neutrons, and by positron emission or electron capture to $^{90}_{62}$Sm with 90 neutrons. The lowest-lying excited states of $^{152}_{64}$Gd were known to have spins and energies appropriate to the vibrations of a spherical shape while the lowest-lying excited states of $^{152}_{62}$Sm were more appropriately described as rotations of an ellipsoidal shape. It was an ideal problem for a neophyte nuclear spectroscopist.

Figure 2a shows the two types of states exhibited in $^{152}_{62}$Sm and $^{152}_{64}$Gd. The lower states of $^{152}_{62}$Sm exhibit the classic rotational structure of an ellipsoidal shape with energies approximately proportional to $I(I+1)$, where I is the spin of the state. The lowest states of $^{152}_{64}$Gd, on the other hand, exhibit the classic vibrational structure of a spheroidal shape with a triplet of states (0^+, 2^+, 4^+) centered at roughly twice the energy of the first 2^+ vibrational state at 344 keV. Determining the spins, parities, and lifetime of the states was an excellent problem for a postdoc who knew next to nothing about nuclear spectroscopy.

My initial studies had little relevance to the measurement of the helicity of the neutrino. It did, however, set me on the path to measuring properties of the centerpiece of this paper, the 963 keV state of ^{152}Sm, which is only populated by the 9 hour isomer, ^{152m}Eu, fig. 2b. With the mentoring of Andy Sunyar, a well-established, gifted experimental physicist, I mastered the techniques of nuclear spectroscopy, and had a ball.

1 1956: Parity violation

Prior to 1956, it was "self-evident" that the results of an experiment could not depend on the coordinate system used to describe it. An experiment done by a physicist standing in front of a mirror would give the same result as the experiment done by the physicist's image. That changed in 1956 after T. D. Lee and C. N. Yang submitted a paper to "Physical Review" proposing that parity might not be conserved in weak interactions [1]. They proposed measurements of pseudoscalar quantities, which depend on the chosen coordinate system. They called special attention to the angular distribution of electrons emitted in the decay of polarized nuclei, which should be isotropic if parity is conserved, and

anisotropic if parity is not.

The preprint of their paper inspired Sergio De Benedetti, a BNL summer visitor from Carnegie Mellon University, to propose a test of parity conservation by measuring the circular polarization of gamma rays with respect to the momentum of a preceding beta particle. With Goldhaber's acquiescence, though without his usual enthusiasm, Sergio, Andy, Richard Madey (another summer visitor) and I did the experiment. Maurice made the prescient comment that the predicted effect would be small and would not be considered a credible proof of so revolutionary an idea.

Techniques for measuring the circular polarization of gamma rays make use of the spin dependence of Compton scattering [2, 3], which depends on the handedness of the polarization with respect to the longitudinal polarization of the scattering electrons. Fully magnetized iron gets its internal magnetic field from the two polarized electrons per iron atom. We constructed an appropriate electromagnet for the chosen source and measured the coincident rate of beta rays with the follow-on gamma rays that had traversed about three mean free paths of magnetized iron. Figure 3 shows the essential components.

The coincidence count rate difference on field reversal was about 0.5%; a correct result for the spins involved in the decay chain. But it was not convincing enough to shed doubt on parity conservation. A paper was never submitted for publication. The work had no consequence other than our learning how to measure circular polarization of gamma rays.

In December, C. S. Wu, E. Ambler and coworkers did the definitive experiment by measuring the angular anisotropy of beta particles from polarized ^{60}Co nuclei. Their results, consistent with total violation of parity in beta decay, were published on February 15, 1957 [4]. The direction of the anisotropy of the electron distribution with respect to the polarization of the ^{60}Co showed that the helicity of the beta decay electron is negative, *i.e.* its spin is opposite to its emission direction.

2 1957: Goldhaber's parity experiment

Studies of parity violation dominated the nuclear and particle physics of the year. One of the confirming experiments was a new test proposed by Goldhaber. He argued that conservation of angular momentum, indicated by the open arrows in fig. 4, dictates that the helicity of a beta-particle should be transferred to the bremsstrahlung it produces in the forward direction.

Most theorists whom Maurice queried over a period of several weeks were reluctant to give an opinion. But Freeman Dyson, who was visiting BNL, thought it was not a difficult theoretical problem and volunteered to calculate that afternoon. He came to the lab, sat at the desk with a few sheets of paper and shortly announced that Maurice was right: bremsstrahlung in the forward direction should retain the helicity of the beta-particle [5].

We took the magnet out of storage, placed a collimated source of high-energy betas from a ^{90}Sr source on top, and a well-shielded gamma-ray detector below. Figure 5 shows the set-up. Figure 6 shows the results of the count rate difference on magnetic field reversal as a function of the gamma-ray energy.

The experiment [6], published in the spring of 1957, was one of many that confirmed that parity was not conserved in weak interactions.

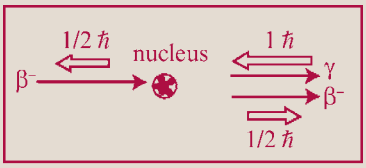


Fig. 4 Scheme of the Goldhaber idea that the helicity of the electron is transferred to a forward bremsstrahlung γ.

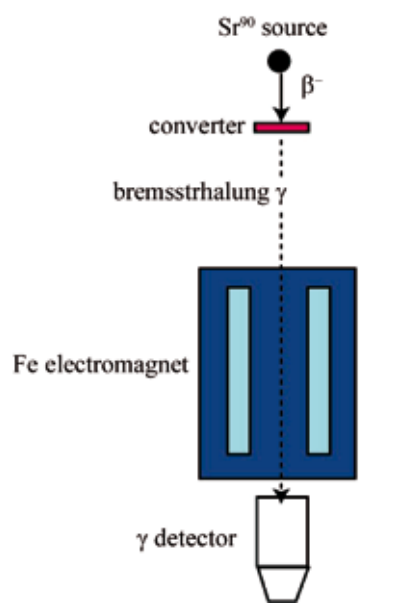


Fig. 5 Set-up for helicity transfer from β electron to a forward bremsstrahlung γ.

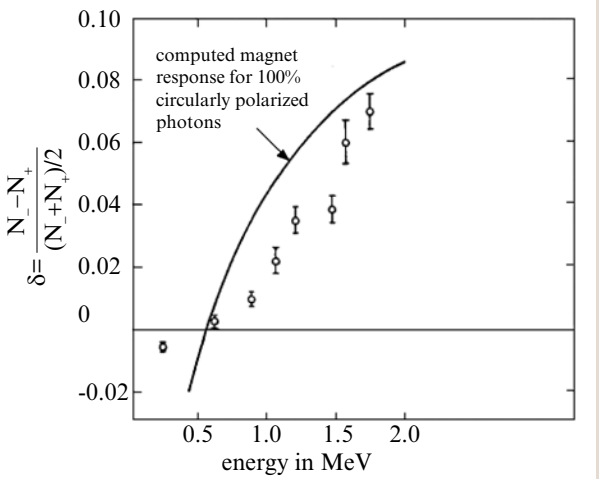


Fig. 6 Asymmetry in the counting rate with up-down magnetic field as a function of γ-ray energy from [6] with the set-up of fig. 5.

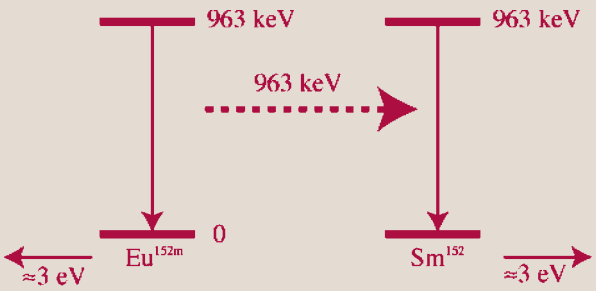


Fig. 7 Illustration of the effect of the recoils, to be considered in the resonance conditions. The dashed line represents the 963 keV γ-ray emitted when a 963 keV level, ^{152*}Sm, decays to the ground state. If ^{152*}Sm decays from rest the emission results in ^{152}Sm recoiling with 3 eV kinetic energy. Moreover, when the emitted 963 keV γ hits a stationary target ^{152}Sm it gives it its momentum, corresponding also to 3 eV recoil kinetic energy. The missing 6 eV can only be made up by the Doppler shift when the 963 keV γ is emitted from a moving ^{152*}Sm.

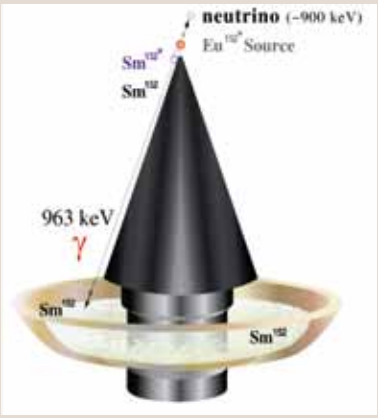


Fig. 8 Cartoon of the arrangement of the GGS neutrino helicity experiment. The γ is emitted opposite to the ν direction. In the depicted case the γ points to the Sm ring and may induce fluorescence.

Theoretical advances were rapid and Goldhaber was now thinking constantly about experimental tests. Andy returned to the study of the lifetimes of nuclear states by electronic means. I turned to the study of the states populated by the nine-hour isomer ^{152m}Eu.

3 Resonance fluorescence

The two lowest states in ^{152}Sm, at 122 keV and 366 keV, (fig. 2b) have spins, parities and energy ratios expected for a rotational band of an ellipsoidal nucleus. The 963 keV state, with readily deduced spin-parity of 1^-, was a plausible candidate to be the lowest member of an odd-parity collective band built on that collective ground state. Measuring its lifetime would test this hypothesis but the expected value of about 10^{-14} s was far too short for electronic methods. In principle, such lifetimes can be determined by measuring the cross-section for the width of the resonance fluorescence of the state. Resonance fluorescence is a well-known and readily observed optical phenomenon, but its application to nuclear states is generally difficult to achieve [7]. That was not the case here.

Figure 7 illustrates the essentials of resonance fluorescence as applied to the 963 keV transition. The 963 keV gamma ray emitted from the radioactive ^{152m}Eu excites the 963 keV state in a nearby stable nucleus of ^{152}Sm. The excitation can only occur if the energy of the fluorescing gamma ray coincides with the energy of the state being fluoresced. The fluorescence is measured by detecting the decay of the fluoresced state by a detector that is shielded from radiation from the ^{152m}Eu.

The energy of the emitting 963 keV state is divided between the gamma-ray energy and the nuclear recoil energy. The momenta of the two are the same, so the energy of the recoil, in both emission and absorption, is

$$E_{\text{recoil}} = \frac{E_\gamma}{2M_{152}c^2} \approx 3\,\text{eV} \quad . \tag{1}$$

The total decrement is about 6 eV. Six electronvolts is five orders of magnitude less than the gamma-ray energy, but it is two orders of magnitude larger than the 0.01 eV natural line width of a state whose mean life τ is 10^{-14} s.

Resonance can only be achieved if the 963 keV gamma ray can be Doppler-shifted by at least 6 eV. Two sources of Doppler shift are necessary, one from the ambient temperature that is directly related to the mean velocity of the atoms, the other from the neutrino recoil.

The ambient temperature was about 300 K. The mean thermal energies of both the emitting and stimulated nuclei is *kT*, where *k* is Boltzman's constant. Both the emitting and the absorbing gamma rays are therefore Doppler-shifted, on average, by

$$\Delta E_\gamma = E_\gamma^0 \frac{v}{c}\cos\theta = E_\gamma^0 \left(\frac{2kT}{M_{152}c^2}\right)^5 \cos\theta \cong 0.5\cos\theta\,\text{eV} \,, \tag{2}$$

where θ is the angle between the photon direction and the nucleus direction and *v* is its velocity. The thermal Doppler broadening is almost two orders of magnitude greater than the expected natural line width but it is still far from the 6 eV needed for resonance. That requires the Doppler shift from the ^{152*}Sm that is recoiling from the emitted neutrino.

K-electron capture results in a two-body final state so the neutrino and

the recoiling ^{152*}Sm share the total energy of about 940 keV.

(3) $$^{152m}\mathrm{Eu} + e^{-}(\mathrm{K}) \longrightarrow {}^{152*}\mathrm{Sm} + \nu_e \ .$$

Conservation of momentum dictates that the velocity of the ^{152*}Sm is simply $E_\nu/(M_{152}c)$ so that the 963 keV gamma ray, emitted in flight, is Doppler-shifted by

(4) $$\Delta E_\gamma = \frac{E_\nu E_\gamma}{M_{152}c^2}\cos\theta \cong 5.4\cos\theta \ \mathrm{eV} \ ,$$

where θ is the angle between the direction of the gamma ray and the recoiling ^{152}Sm. When the 963 keV gamma ray is emitted opposite to the direction of the 940 keV neutrino, almost 95% of the shortfall has been eliminated. The sum of the Doppler shifts from temperature and neutrino recoil, when occurring in the vicinity of their appropriate maxima, produces resonance fluorescence.

The one remaining condition for resonance to occur in a solid target (the only practical medium) is that the 963 keV gamma ray must be emitted in flight, a condition that was fulfilled for lifetimes below about 10^{-13} s.

Figure 8 is a cartoon of the experimental arrangement. The 9 hr ^{152m} Eu source was placed at the apex of a truncated cone of lead, which itself sat on top of a NaI(Tl) gamma-ray detector. Surrounding the detector was approximately two pounds of natural samarium (26.7% ^{152}Sm) placed inside a truncated conical shell made of cardboard and duck tape.

The emission of the neutrino tagged the direction of the recoiling nucleus. (The energy of the neutrino in fig. 8 was believed at the time of the experiment to be about 900 keV.) The recoiling ^{152*}Sm promptly emitted either a 963 keV or an 841 keV gamma ray (see fig. 2b); the latter being of no consequence. The 963 keV gamma, emitted in the direction of the stable ^{152}Sm was Doppler-shifted by energies ranging between about –6 eV and +6 eV, depending on the direction of emission of the neutrino.

For those neutrinos that were emitted away from the target ^{152}Sm, the Doppler shift of the 963 keV gamma ray was positive. Some fraction of those gamma rays resonantly excited the ^{152}Sm to the 963 keV level. The excited states decayed by emitting either a 963 keV or an 841 keV gamma ray. A fraction of them, depending on geometry and the angular correlation of the electric dipole excitation and decay, are detected in the NaI(Tl) detector.

Figure 9, shows the gamma-ray spectra obtained in the NaI(Tl) detector [8].

The resonant signature of the 963 keV and 841 keV gamma rays appeared quickly, well above the background of Compton scattered radiation. I had demonstrated one of the clearest "observations" of the neutrino's momentum. And I was paid to do that experiment!

The experimental data had been collected but the analysis was unfinished when Maurice and his wife Trudy left for Israel to attend the Rehovoth Conference on Nuclear Structure, a conference dominated by papers and discussions of parity violation. They may have been still abroad when Lee and Yang accepted the Nobel Prize.

Upon Maurice's return to Brookhaven Labs, he called me into his office. What I recall is intense fascination as he described the method for measuring the helicity of the neutrino. The concepts were clear

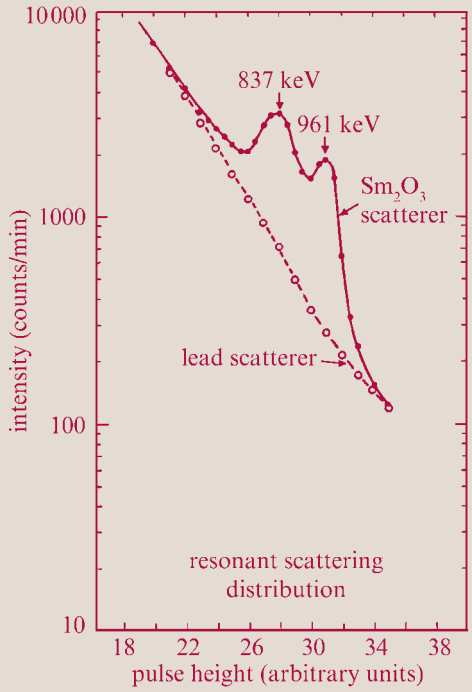


Fig. 9 Gamma-ray spectra obtained in the NaI(Tl) detector.

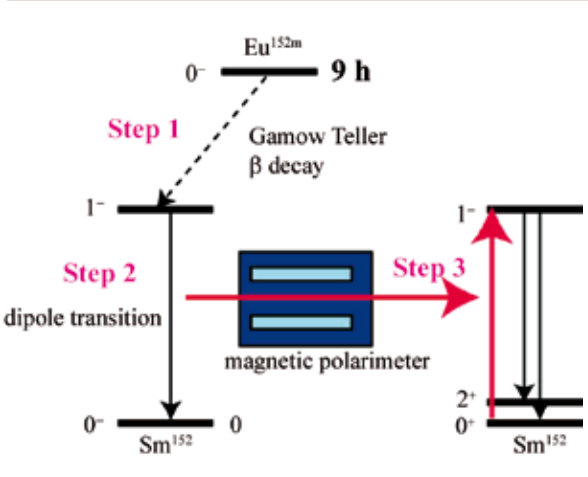


Fig. 10 The basic spin-parity levels of the neutrino helicity experiment.

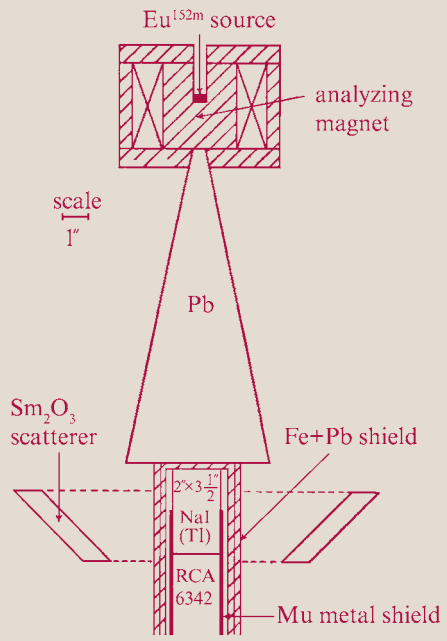


Fig. 11 Schematic arrangement of the neutrino helicity experiment. (From Goldhaber *et al.* [9])

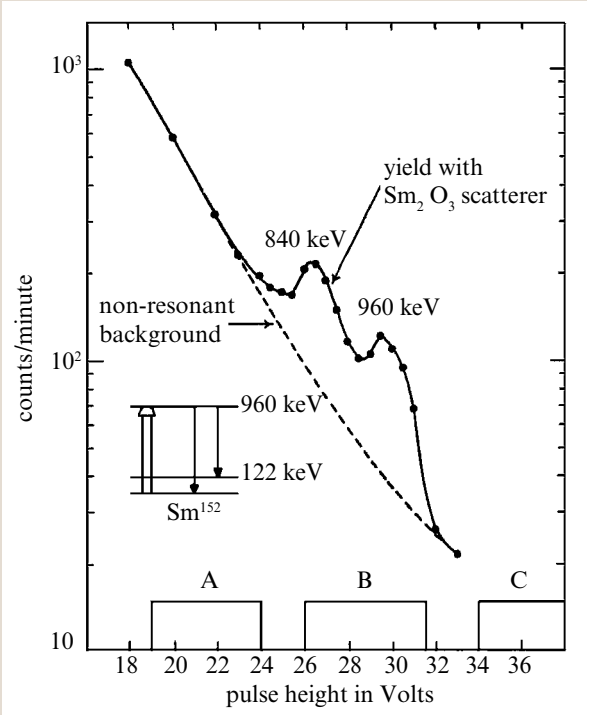


Fig. 12 Distribution of the resonant scattered γ-rays of ^{152m}Eu [9]. Taken with the arrangement of fig. 11.

and inevitable. The resonant fluorescence determined the momentum direction of the neutrino. If we measured the helicity of the fluorescing gamma rays then the conservation of angular momentum would determine the helicity of the neutrino.

Goldhaber's idea has four sequential steps (see fig. 10).

Step 1. The helicity of the neutrino is transferred to the helicity of the recoiling nucleus.

The first line of eq. (5) gives the reaction, the second one the angular-momentum conservation:

$$(5) \qquad {}^{152m}_{93}\mathrm{Eu} + e^-(K) \longrightarrow \nu + {}^{152^*}_{93}\mathrm{Sm}\,, \qquad 0^- + \tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{2} + 1^-\,.$$

About 20% of the beta decays of $^{152m}_{63}$Eu (spin 0) take place by capturing one of its K-electrons, which has no orbital angular momentum. The initial state has a total spin of ½. The final state is a polarized 940 keV neutrino, spin ½, and a polarized $^{152*}_{62}$Sm in a 1^- state. The samarium and the neutrino must have opposite momenta and must have opposite spin directions. They therefore have the same sign of helicity.

Step 2. The helicity of the recoil is transferred to the helicity of the gamma ray.

$$(6) \qquad {}^{152^*}_{92}\mathrm{Sm} \longrightarrow {}^{152}_{92}\mathrm{Sm} + \gamma\,(963\,\mathrm{keV}) \qquad 1^- \;=\; 0^+ + 1^-$$

The 1^- state of ^{152*}Sm decays in less than 10^{-13} s by emitting a 963 keV electric dipole gamma ray to the 0^+ ground state, or an 841 keV electric dipole gamma ray to the 2^+ first excited state. Only the former, which connects the 963 keV state to the ground state, is of interest. Those 963 keV gamma rays carry away the spin of the ^{152*}Sm. If they are emitted in the same direction as the still recoiling ^{152*}Sm then they must retain the helicity of the recoil.

Step 3. The momentum and polarization conditions are satisfied.

The 963 keV gamma rays that strike the ^{152}Sm nuclei in the SmO_2 target have traversed the core of the magnet polarimeter. A fraction of them were emitted opposite to the direction of the emitted neutrino in Step 1. Only that fraction resonantly excites the 963 state of ^{152}Sm. In sum: the only gamma rays that can resonantly excite the ^{152}Sm are those that carry the signature of the neutrino helicity and have traversed the magnetic polarimeter. It should be noted that the fluorescing 963 keV gamma rays are not expected to be fully circularly polarized since they are not emitted exactly 180° from the neutrino. (The gamma rays emitted at 90° from the recoil direction are transversely polarized.)

Step 4. The signature is detected. The fluoresced state de-excites by emitting either a 963 keV or an 841 keV gamma ray, which are detected in an energy-dispersing counter that is shielded from the primary source. The helicity of the neutrino is determined from their count rate as a function of magnetic field direction.

Andy and I took the magnet out of storage, drilled a hole for the ^{152m}Eu

source and mounted it on top of the resonance fluorescence apparatus. A schematic of the new configuration is shown in fig. 11. With Maurice fully involved, we obtained the fluorescence spectrum shown in fig. 12, which is essentially identical to that I had obtained without the magnet. Figure 12 adds the regions of interest, A, B, and C, which we used as one of the controls as we switched the direction of the saturated magnetic field in the iron core. Only the intensity in region B changed significantly with field reversal.

My memories of those days are of Maurice in the laboratory insisting on all manners of verification tests. He was particularly concerned that we had correctly correlated the direction of the spin of the polarized electrons with the direction of the magnetic field in the iron and he was not satisfied until all the methods that we could think of gave the same answer.

The change in the net 837 keV/963 keV gamma-ray count rate in region B of fig. 12 is a direct measure of the helicity of the fluorescing 963 keV gamma rays that traversed the magnet polarimeter in fig. 11. The results of 9 independent runs are shown in fig 13. The average helicity was –0.67 with an uncertainty of about 15%.

The 963 keV gamma rays that traversed the magnet had negative helicity; the circular polarization of the gammas was anti-parallel to its momentum.

Therefore, the neutrinos emitted in positron decay or electron capture have negative helicity.

This experiment also settled the controversy of the nature weak-interaction currents. Beta decay proceeds via axial vector and vector modes.

No photograph has been found of Maurice with his experiment. The photo in fig.14 was taken in September, 1958, by a New York Daily News photographer for an article on young scientists. Andy and I cobbled the original parts together. I am holding the magnet in place.

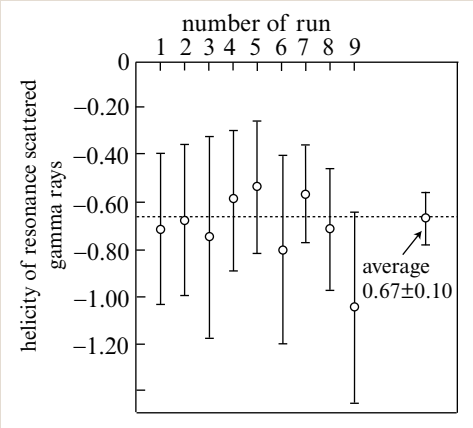


Fig. 13 The helicity of the fluorescing 963 keV gammas deduced from the field reversal measurements.

Fig. 14 Lee Grodzins holding the magnet in September 1958.

References

[1] T. D. Lee and C. N. Yang, *Phys. Rev.*, 104 (1956) 254.
[2] H. T. Tolhoek, *Rev. Mod. Phys.*, 28 (1956) 277.
[3] L. Grodzins, *Progr. Nucl. Phys.*, 7 (1959) 163.
[4] C. S. Wu, E. Ambler, R. Hayward, D. Hoppes and R. Hudson, *Phys. Rev.*, 105 (1957) 1413.
[5] K. McVoy, *Phys Rev.*, 106 (1957) 828; K. McVoy and F. Dyson, *Phys. Rev*. 106 (1957) 1360.
[6] M. Goldhaber, L. Grodzins and A. Sunyar, *Phys. Rev.*, 106 (1957) 826.
[7] F. J. Metzger, *Progr. Nucl. Phys.*, 7 (1959) 58.
[8] L. Grodzins, *Phys. Rev.*, 109 (1958) 1014.
[9] M. Goldhaber, L. Grodzins and A. Sunyar, *Phys. Rev.*, 109 (1958) 1015.

Lee Grodzins

Lee Grodzins, born in 1926, received his Mechanical Engineering degree from the University of New Hampshire and his PhD in Physics from Purdue University. He joined the Physics faculty of MIT in 1959, retiring in 1998 to work in industry, first as VP for Advanced Development at American Science & Engineering, then as VP for R&D for Niton Corporation, a company he founded in 1987, and presently as Senior Fellow at AS&E. He was a Guggenheim Fellow in 1964-65 and in 1971-72; a Senior von Humbolt Fellow in 1980-81; winner, in 1995, 2003 and 2007, of R&D 100 awards given for the 100 best new products in the USA. He has authored more than 150 technical papers and holds more than 40 patents. He is a Fellow of the American Physical Society and the American Academy of Arts and Sciences. He received an honorary Doctor of Science degree from Purdue University in 1998.

GIULIO RACAH (1909-1965): MODERN SPECTROSCOPY AND GROUP THEORY

FRANCESCO IACHELLO[1], IGAL TALMI[2]
[1]Center for Theoretical Physics, Yale University, New Haven, CT, USA
[2]Department of Particle Physics and Astrophysics, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel

In the course of the years 2009-2010, several conferences were held in various countries to celebrate the 100th anniversary of the birth of Giulio Racah. In view of the Italian origins of Racah, it seemed appropriate to recall in these columns the importance of his role in the development of theoretical physics, especially atomic and nuclear physics, in Italy and the World.

Giulio Racah was born in Florence on the 9th of February 1909 in a family with a long scholarly tradition, both in religious studies and later in mathematics and natural sciences. His family was well-off and owned several properties in Florence and Pisa. One of the first pictures we have of Giulio is with his brother Ugo in the family farm, Fattoria San Marco, Pisa, circa 1913 (fig. 1). It is a typical scene from rural Italian life at the beginning of the 20th century (Novecento). Giulio grew up in this environment and maintained throughout his life an attachment to his roots. He had in him much of the flavor of his famous birthplace, and even in later years, in whatever language he spoke, Italian, English or Hebrew, one could guess his Florentine accent.

Fig. 1 Giulio and his small brother Ugo in the family farm, Fattoria San Marco, Pisa, circa 1913.

Giulio obtained the "Laurea in Fisica" from the University of Florence in 1930. Even before graduating he had published in 1929 a paper with Bruno Rossi, "A proposito di una osservazione di Stark sulla realtà del moto assoluto"[1]. His "Tesi di laurea" was written under the supervision of Enrico Persico, who had become Professor in Florence in 1926 at the same time that Fermi had become Professor in Rome ("Concorso per cattedre di Fisica Teorica"[1], 1926). The thesis was about the interaction of light with the atoms of a medium using the Fermi formulation of quantum electrodynamics. He published it in 1930 as sole author with title "Sopra l'elettrodinamica quantistica" [2]. This was a trend that he followed also in later years as the great majority of his papers are written with him as the sole author.

Theoretical physics in 1930 was flourishing in Rome around Enrico Fermi. Racah soon joined this group of young enthusiastic people and lived in the stimulating atmosphere so vividly portrayed in Laura Fermi's book, "Atoms in the family" [3]. As described in that book, there was an acute shortage of research positions at the time. Racah was appointed assistant to the Secretary of the Committee for Physics of the CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche). This was in practice a fellowship to work with the Secretary who was Fermi. Racah's work on hyperfine structure of spectral lines is from that period and was published both in Italian "Sopra le strutture iperfini" [4], and in German "Zur Theorie der Hyperfeinstuktur" [5]. Even in later years, Racah remained close to Fermi, as shown in the enclosed picture taken in 1950 (fig. 2).

Racah spent the academic year 1931-32 with Wolfgang Pauli in Zürich on a fellowship from the Italian Ministry of Education. Fermi was insisting that all persons in his group would spend time abroad. He convinced Racah easily, but had a difficult time in convincing Ettore Majorana to go (Majorana would finally go a year later than Racah, in January 1933, to Leipzig to spend 6 months with Werner Heisenberg). Zürich was a very active centre and Racah met there new people, new ideas and, in Pauli, a severe critic. In 1932 he was appointed "Professore Incaricato" at the University in Florence. He stayed there until 1937 when he was appointed "Professore Straordinario" at the University of Pisa. This was the famous "Concorso per cattedre di Fisica Teorica", 1937, that had been started under insistence of Emilio Segrè in Palermo. Participants to this "concorso" were in addition to Racah, Giancarlo Wick, Giovanni Gentile jr., Leo Pincherle, Gleb Wataghin and Ettore Majorana. Majorana was given a chair for "chiara fama" (a special Chair given to a person of great renown) in Naples and Racah, Wick and Giovanni Gentile jr. were declared winners. Racah gladly accepted the position and moved to Pisa the same year. During this time he was active in several fields. He carried out detailed and extensive calculations of Bremsstrahlung and electron pair production, which he published both in Italian: "Sulla nascita degli elettroni positivi" [6] and in English: "Production of electron pairs" in Nature [7]. He also worked on the quadratic Zeeman effect [8], the electric dipole moment of the electron [9], and, most importantly, in 1937 on the symmetry between particles and antiparticles, "Sulla simmetria tra particle e antiparticelle" [10], motivated by the Majorana theory "Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone" which had just appeared [11]. Indeed, the two papers are in the same volume of "Il Nuovo Cimento", Majorana's at page 171 and Racah's at page 322. In his paper, Racah noted that while Majorana had originally suggested that his symmetric theory may apply to all neutral particles, neutrons and neutrinos ("… e permette non solo di dare forma simmetrica alla teoria degli elettroni-positroni, ma anche di costruire una teoria sostanzialmente nuova per le particelle senza carica elettrica (neutroni e ipotetici neutrini)"), in reality it can be applied only to neutrinos, since neutrons and antineutrons have a magnetic moment of opposite sign, and, moreover, in the beta process antineutrons decay into antiprotons instead of protons. ("Da un punto di vista più fisico possiamo riassumere queste considerazioni dicendo che la teoria di E. Majorana equivale a identificare le particelle con le antiparticelle, e che se tale identificazione può farsi per i neutrini, essa non sembra possibile per i neutroni, perchè l'antineutrone dovrebbe differire dal neutrone e per il segno del momento magnetico e per la capacità di trasformarsi per processo beta in antiprotone anziché in protone.")

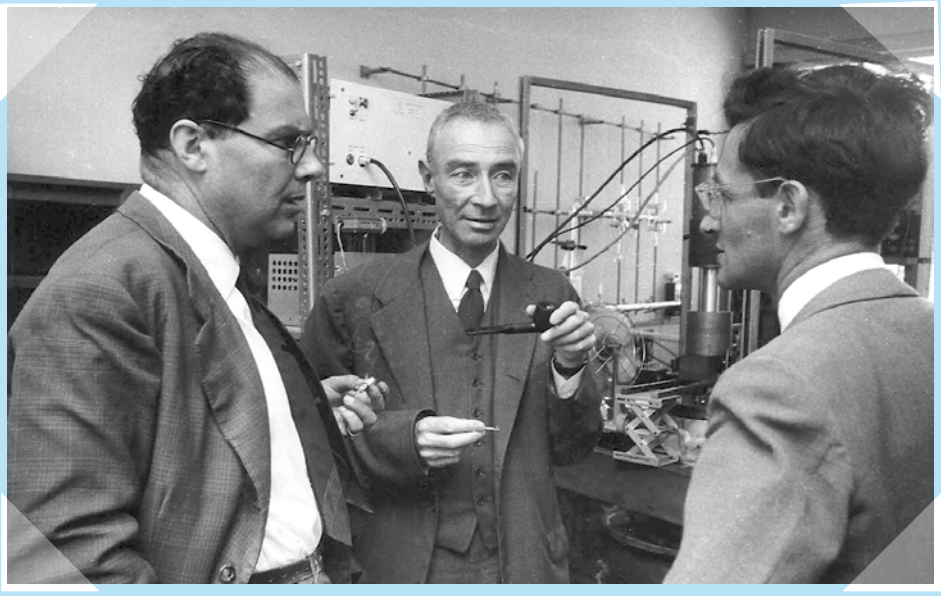
When the Fascist racial laws were enforced in Italy, Racah had to give up his position. It came as a severe blow to him who considered himself deeply rooted in Italian life. Almost at the last moment before the war, in 1939, he moved to Palestine, and under recommendation from Albert Einstein and others he was given a position at the Hebrew University in Jerusalem. He settled quickly in the new environment, married an Israeli girl, Zmira Mani, and learned some Hebrew. The war broke out and Racah had to teach and to work in

[1]Competition for the Chair in Theoretical Physics.

Fig. 2 Giulio Racah with Enrico Fermi, 1950.

Fig. 3 The Rehovoth International Conference on Nuclear Physics. Weizmann Institute of Science, 1957. From the right: Aage Bohr, Niels Bohr, Giulio Racah.

Fig. 4 The Rehovoth International Conference on Nuclear Physics. Weizmann Institute for Science, 1957. From the right: Solly Cohen, Robert Oppenheimer, Giulio Racah.



complete isolation from all other theoretical physicists for more than 5 years.

In Jerusalem, Racah mainly occupied himself with the calculation of complex spectra. It is interesting to note that his interest in this field was first directed to the quasi-atomic model of the nucleus, which he had already started investigating while in Italy, "Vedute generali sulla costituzione del nucleo atomico" [12] and "Ricerche moderne sulle teorie nucleari" [13]. He started with problems considered in the early work of Eugene Wigner and Friedrich Hund, who had introduced a classification of nuclear states by the irreducible representations of the spin-isospin group $SU(4)$, a generalization of Heisenberg isospin $SU(2)$. This seemed reasonable at that time, since in the quasi-atomic model, no spin-orbit interaction was present. However, new experimental evidence was thought to invalidate the quasi-atomic picture of the nucleus. Racah had to apply the mathematical methods he started to develop to complex spectra of atoms. Only about 10 years later, with the emergence of the nuclear shell model, could these methods serve their original aim and be applied to nuclear spectra.

Racah's methods were presented mainly in a series of four papers published in the "Physical Review". These papers are called "Theory of Complex Spectra" and numbered I to IV [14–17]. In the first paper, Racah treats the calculation of the mutual interaction energy of two particles (electrons) moving in a central field. Instead of first calculating matrix elements of Legendre polynomials in the so-called *m*-scheme, in which the projection of the angular momentum of each particle is diagonal, he uses the scheme in which the total angular momentum, L, and its projection, M, are diagonal. The calculation is very involved, but he managed to obtain "a closed formula which entirely replaces the previous lengthy calculations with the diagonal sum method".

In the second paper of the series, the same calculation is performed in a more general way, by defining and developing the algebra of tensor operators. Racah had worked extensively on tensor operators while in Italy, starting from 1933, "Numero dei tensori isotropi ed emisotropi in spazi a più dimensioni" [18] and continuing to 1937, "Sopra i tensori isotropici che presentano particolari simmetrie" [19]. He further developed his ideas, especially in connection with tensors with respect to the rotation group and applied it to the atomic physics calculations he was doing. In the same second paper [15], he also defined the W-function, called today Racah coefficient (6*j*-symbol) as a linear combination of products of four Clebsch-Gordan coefficients (3*j*-symbols) and applied the formalism to some actual configurations. Tensor algebra had been developed about the same time and independently by Wigner. However, he, and colleagues whom he consulted, could not find any application of it. As a result, Wigner did not publish his elegant formulation. Racah instead was motivated by the applications to spectroscopy and developed his methods specifically to solve its problems.

In the third paper the concept of fractional parentage introduced by S. Goudsmit and R. F. Bacher is generalized. Antisymmetric wave functions of n electrons in the same orbit with angular momentum l are built as linear combinations of antisymmetric states of $n-1$ electrons to which l of the n-th electron is coupled. The coefficients in this expansion are the coefficients of fractional parentage. Also in this paper, a new operator, Q, the first pairing interaction ever used, and its associated quantum number, seniority, v, was introduced (v is the first letter of the Hebrew word vethek = seniority). It measures the amount of couplings into $L = 0$ electrons. The pairing interaction became later very popular in the theory of superconductivity and in the spectroscopy of nuclei [20].

The first three papers were published in 1942-43. All the derivations were carried out by Racah without the explicit use of group theory, introduced earlier by Hermann Weyl [21], and Eugene Wigner [22]. This is in part due to the aversion to group theory expressed by no one less than Niels Bohr and spelled out in the introduction to the book of Condon and Shortley, "The theory of atomic spectra" [23]. In the fourth paper, published in 1949, Racah uses explicitly for the first time group theory. In the abstract of the paper he says "the calculation of coefficients of fractional parentage and the energy matrices… is very much simplified by the use of the theory of groups". This was the birth of the systematic use of group-theoretical methods in physics and put aside, once for all, the controversy between Hermann Weyl and the Copenhagen school.

Racah described his application of group theory to spectroscopy in a series of lectures he gave at the Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey, in 1950. These lecture notes have been an inspiration to many and have been used by generations of physicists ever since. They were reproduced again by the Institute, later in Italy and still later by CERN in the 1960s when group-theoretical methods became also popular in particle physics. Finally, early in 1965, they were published in the "Springer Tracts in Modern Physics" [24].

Racah's work on irreducible tensors was also published in 1959 in a book [25] written with his cousin Ugo Fano, who was also a well-known atomic physicist and who had moved from Italy to the Unites States of America in 1939.

Racah continued to work in atomic physics during all those years. He also approached some general problems in nuclear spectroscopy. By the late 1950s he was one of the best-known spectroscopists in the world. In 1957, at the Rehovoth Conference for Physics, held at the Weizmann Institute, he is seen with Niels Bohr and Aage Bohr in one picture (fig.3) and with Robert Oppenheimer in another (fig. 4).

Fig. 5 Physics Summer School, Varenna on Lake Como, Italy, 1960. Sitting in the center Giulio Racah (sixth from the right) and Igal Talmi (eighth from the right). Giulio's family was also present. His son Amnon is standing behind him, his wife Zmira and daughter Erela are standing behind Igal as is his son Eli. We wish to thank Eliyahu Racah and Issachar Unna (who is also in the picture) for providing the photos of Racah shown in this article.

Throughout those years he also maintained strict contact with Italy and with the Società Italiana di Fisica. In 1960, he was director of Course XV of the SIF Physics Summer School in Varenna on Lake Como. The picture taken, as usual, in the garden of Villa Monastero shows some of the best nuclear physicists of the time with Racah sitting in the center and the lecturers Gaja Alaga, Jeff Godstone, Giacomo Morpurgo, Ben Mottelson and Igal Talmi next to him (fig. 5).

Giulio Racah died prematurely in Florence, the same town where he was born, on the 28th of August 1965, on his way to Amsterdam to the Zeeman Centennial Conference.

Racah's principal legacy is the introduction of group-theoretical methods in spectroscopy. The algebra of tensor operators which he introduced is now called Racah algebra. He revolutionized atomic spectroscopy with his four papers on the Theory of Complex Spectra, I-IV. He introduced the pairing interaction and the seniority scheme and made ample use of it even though the Coulomb interaction is not diagonal in it. He and his students analyzed actual spectra of many atoms and obtained very good agreement with experiment. His dream was to carry out this program for spectra of all atoms.

Racah's methods turned out to be very useful for the spectroscopy of the nuclear shell model as discussed in the book by Amos de-Shalit and Igal Talmi, "Nuclear Shell Theory" [26]. The introduction of the *SU*(3) model for nuclei by Phill Elliott [27] clearly followed his approach. This is also the case of the interacting boson model of the nucleus, introduced by Akito Arima and Francesco Iachello, and discussed in their book "The Interacting Boson Model" [28]. Racah's group-theoretical methods have also been used in molecular spectroscopy by Francesco Iachello (see his book, written with Raphael Levine, "Algebraic Theory of Molecules" [29]). Thus, Racah's methods are used today in all branches of physics dealing with finite many-body systems.

Giulio Racah was also a great teacher. To witness his lectures was a great experience. From his early times as a Professor at the University of Florence and Pisa, to his later years at the University of Jerusalem and at the Institute for Advanced Studies in Princeton, his lectures were legendary. He would fill the blackboard with lengthy calculations but never losing the physical meaning of whatever he did. Racah also established theoretical physics in Israel and his influence is felt to this day. The Racah Institute of Physics at the Hebrew University in Jerusalem was established in 1970 in his honor, and even a crater on the Moon was named after him.

He will be remembered for his enthusiasm and love of physics that started in Rome with Fermi and continued in Jerusalem until the very end of his untimely death.

Francesco Iachello

Francesco Iachello is the J.W. Gibbs Professor of Physics and Chemistry at Yale University. His work has been dedicated to the study of symmetries in physics through the introduction of models based on symmetry and their application to physical systems, in particular the interacting boson model of the nucleus and the vibron model of molecules. For his work he has received many honors and awards, including the 1990 Eugene Wigner Medal for Mathematical Physics, the 1993 Tom Bonner Prize of the American Physical Society, the 2002 Lise Meitner Prize of the European Physical Society and the 2010 Enrico Fermi Prize of the Italian Physical Society. He has also been awarded several Honorary Doctorates and Honorary Professorships.

Igal Talmi

Igal Talmi is Professor Emeritus at the Weizmann Institute of Sciences in Rehovot, Israel. His work has been dedicated to the development of models of nuclear structure, in particular the nuclear shell model and the interacting boson model. For his work he has received several honors and awards, including the 1962 Weizmann Prize, the 1965 Israel Prize, the 1971 Rothschild Prize, the 2000 Hans Bethe Prize of the American Physical Society and the 2003 E.M.T. Prize from the prime minister of Israel.

Both authors of this short article have had connections with Racah's work, Igal Talmi as his student and collaborator in Israel and author of the book "Simple models of complex nuclei", and Francesco Iachello as author of the book "Lie algebras and applications" where use is made of the algebraic methods introduced by Racah in the 1940's, and described in his book "Group theory and applications", Mimeographed Lecture Notes, Princeton, New Jersey (1951), successively published also in "Il Nuovo Cimento Supplemento", 14 (1959) 67.

References

[1] G. Racah and B. Rossi, "*A proposito di una osservazione di Stark sulla realtà del moto assoluto*", *Il Nuovo Cimento,* 6 (1929) 317.
[2] G. Racah, "*Sopra l'elettrodinamica quantistica*", *Rendiconti R. Accad. Naz. Lincei*, 11 (1930) 1100 (also published in *Il Nuovo Cimento,* 7 (1930) 335).
[3] L. Fermi, "*Atoms in the family: my life with Enrico Fermi*" (University of Chicago Press, Chicago) 1954.
[4] G. Racah, "*Sopra le strutture iperfini*", *Il Nuovo Cimento*, 8 (1931) 178.
[5] G. Racah, "*Zur Theorie der Hyperfeinstruktur*", *Z. Phys*., 71 (1931) 431.
[6] G. Racah, "*Sulla nascita degli elettroni positivi*", *Il Nuovo Cimento*, 11 (1934) 477.
[7] G. Racah, "*Production of electron pairs*", *Nature,* 136 (1935) 393.
[8] G. Racah, "*Sopra l'effetto Zeeman quadratico*", *Il Nuovo Cimento,* 11 (1934) 723.
[9] G. Racah, "*Sul cosidetto momento elettrico dell'elettrone*", *Rendiconti R. Accad. Naz. Lincei,* 20 (1934) 39.
[10] G. Racah, "*Sulla simmetria tra particelle e antiparticelle*", *Il Nuovo Cimento*, 14 (1937) 322.
[11] E. Majorana, "*Teoria simmetrica dell'elettrone e del positrone*", *Il Nuovo Cimento*, 14 (1937) 171.
[12] G. Racah, "*Vedute generali sulla costituzione dei nuclei atomici*", *Boll. Mat*., 31 (1935) 1.
[13] G. Racah, "*Ricerche moderne sulle teorie nucleari*" *Società Italiana per il Progresso delle Scienze,* 16 (1938) 82.
[14] G. Racah, "*Theory of complex spectra-I*", *Phys. Rev*., 61 (1942) 186.
[15] G. Racah, "*Theory of complex spectra-II*", *Phys. Rev*., 62 (1942) 438.
[16] G. Racah, "*Theory of complex spectra-III*", *Phys. Rev*., 63 (1943) 367.
[17] G. Racah, "*Theory of complex spectra-IV*", *Phys. Rev*., 76 (1949) 1352.
[18] G. Racah, "*Numero dei tensori isotropi e emisotropi in spazi a più dimensioni, I-I"I*, *Rendiconti R. Accad. Naz. Lincei*, 18 (1933) 135; 20 (1934) 109.
[19] G. Racah, "*Sopra i tensori isotropici che presentano particolari simmetrie, I-II*", *Rendiconti R. Accad. Naz. Lincei*, 25 (1937) 475; 615.
[20] G. Racah and I. Talmi, "*The pairing property of nuclear interactions*", *Physica*, 18 (1952) 109.
[21] H. Weyl, "*Gruppentheorie und Quantenmechanik"* (Hirzel, Leipzig) 1931; translated by H. P. Robertson, "*The theory of groups and quantum mechanics"* (Dover publications, New York) 1950.
[22] E. P. Wigner, "*Gruppentheorie"* (Viewig, Brunswick) 1931; expanded English translation by J. J. Griffin, "*Group theory"* (Academic Press, New York) 1959.
[23] E. U. Condon and G. H. Shortley, "*The theory of atomic spectra"* (Cambridge University Press, Cambridge) 1935. The statement in this book is: "We wish finally to make a few remarks concerning the place of the theory of groups in the study of the quantum mechanics of atomic spectra. The reader will have heard that this mathematical discipline is of great importance for the subject. We manage to get along without it."
[24] G. Racah, "*Group theory and spectroscopy*", *Mimeographed Lecture Notes* (Princeton, New Jersey) 1951; reprinted in *Springer Tracts Mod. Phys,* 37 (1965) 28.
[25] U. Fano and G. Racah, "*Irreducible tensorial sets"* (Academic Press, New York) 1959.
[26] A. de-Shalit and I. Talmi, "*Nuclear shell theory" (*Academic Press, New York) 1963.
[27] J. P. Elliott, "*Collective motion in the nuclear shell model. I. Classification scheme for states of mixed configuration*", *Proc. R. Soc. A*, 245 (1958) 128.
[28] F. Iachello and A. Arima, "*The interacting boson model"* (Cambridge University Press, Cambridge) 1987.
[29] F. Iachello and R. D. Levine, "*Algebraic theory of molecules"* (Oxford University Press, Oxford) 1995.

http://www.provincia.re.it/page.asp?IDCategoria=701&IDSezione=4063&ID=87116

FRANE SOTTO CONTROLLO

MONITORAGGI INCLINOMETRICI "LOW COST" DELL'EVOLUZIONE DELLE FRANE TRAMITE SISTEMI MICROELETTROMECCANICI (MEMS)

FRANCESCO PEDRIELLI [1], FEDERICO FERRARI [2], ITALO DI GIOVANNI [2]

[1] Dipartimento di Fisica, Università di Ferrara, Italia

[2] Consorzio Spinner, Regione Emilia-Romagna, Italia

Il monitoraggio delle frane con un sistema inclinometrico stabile permette di avere informazioni in continuo e non a campagna di misure e quindi tenere sotto controllo situazioni che possono diventare di estrema pericolosità con conseguenti danni alle persone. Sistemi fissi di monitoraggio "low cost" permetteranno di avviare una rete capillare per il monitoraggio continuo sul territorio. Nell'articolo viene fatto il confronto del nuovo sistema fisso "low cost" con quelli manuali, attualmente in uso, per evidenziarne la qualità ed affidabilità[1].

1 Introduzione

Il concetto di rischio idrogeologico, introdotto per rispondere ai compiti istituzionali di mitigazione dei danni causati dalle catastrofi naturali, intende l'entità del danno atteso in una data area e in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso.

In termini analitici, il rischio da frana si può riassumere nella seguente espressione, detta *equazione del rischio*:

$$R = P \times V \times E \,, \tag{1}$$

dove: P (pericolosità, hazard) è la probabilità percentuale di occorrenza di un fenomeno potenzialmente dannoso in un determinato intervallo di tempo e in una determinata area; V (vulnerabilità) rappresenta il grado di perdita su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio, conseguente al verificarsi dell'evento temuto, e viene rappresentata con una scala da 0 "nessun danno" a 1 "perdita totale"; E (valore degli elementi a rischio) è il valore di popolazione, proprietà ed attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area, espresso in termini monetari o di numero/quantità di unità esposte.

Il prodotto dei tre fattori può essere nullo se almeno uno di questi è pari a zero; però, realisticamente, non è possibile eliminare completamente il rischio, ma soltanto ottenerne una "mitigazione" o attenuazione. Gli studi effettuati dimostrano che il fattore R è molto cresciuto; quindi occorre introdurre soglie di rischio accettabile, perché l'odierna società non può più tollerare perdite causate da eventi naturali.

La tabella I riporta la descrizione dei livelli di rischio idrogeologico, secondo quattro gradi crescenti: le azioni più urgenti di mitigazione devono necessariamente iniziare dalle classi di rischio maggiori ($R3$-$R4$).

La previsione della possibile evoluzione dei fenomeni franosi esistenti e di quelli che potrebbero manifestarsi per la prima volta è possibile solo sulla base di una profonda conoscenza storica ed attuale del territorio.

[1] Il sistema sviluppato è stato oggetto di un servizio TV di RaiNews24 che appare nella pagina web unifetv - http://www.youtube.com/watch?v=wA1i6NjrheQ&feature=channel

Allo scopo di fornire un quadro sulla distribuzione dei fenomeni franosi, nel 2007 è stato presentato il progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), il quale ha censito circa 485 000 frane, che interessano un'area di 20 721 km^2, pari al 6,9% del territorio italiano (fig. 1) [1].

Dato che circa il 69% dei comuni italiani è interessato da problemi di instabilità dei versanti, e più della metà di questi presenta livelli di rischio da elevato a molto elevato, si devono necessariamente intraprendere azioni di mitigazione, quali interventi strutturali (opere di bonifica, consolidamento e sistemazione idrogeologica del territorio) e non strutturali (corretta pianificazione territoriale, adeguati piani di protezione civile e monitoraggio strumentale).

A tal proposito, il monitoraggio dei fenomeni franosi non limita la pericolosità, però rappresenta la base per la realizzazione di piani che si propongono come obiettivo la prevenzione dei rischi connessi all'instabilità dei versanti.

Un monitoraggio strumentale presenta i seguenti obiettivi:

- individuazione della superficie di scorrimento della frana e sua relativa profondità per la valutazione dei volumi,
- eventuale esistenza di movimenti in atto e loro collocazione spazio-temporale,
- controllo dei principali parametri idrogeologici della frana,
- controllo di efficienza delle opere di stabilizzazione e di consolidamento realizzate.

Quindi un monitoraggio attento e continuo può essere molto proficuo dal punto di vista della gestione del rischio nell'ambito della protezione civile.

I sistemi più diffusi per il monitoraggio dell'evoluzione degli eventi franosi sono:

- sonde inclinometriche (manuali o automatiche) basate su singolo sensore,
- sonde inclinometriche fisse, di solito ottenute dal montaggio di più sonde del tipo precedente;
- sistemi laser scan e satellitari;
- metodi TDR (Time Domain Reflectometry).

RISCHIO		DESCRIZIONE
R1	Moderato	danni sociali, economici ed ambientali marginali
R2	Medio	possibili danni minori che non pregiudicano incolumità di popolazione, agibilità di edifici, infrastrutture e funzionalità di attività socio-economiche
R3	Elevato	problemi per incolumità di popolazione, inagibilità di edifici e infrastrutture, interruzione di attività socio-economiche e danni ambientali rilevanti
R4	Molto elevato	possibili perdite di vite umane, danni gravissimi ad edifici, infrastrutture ed al patrimonio ambientale, distruzione di attività socio-economiche

Tab. I Descrizione delle classi di Rischio Idrogeologico.

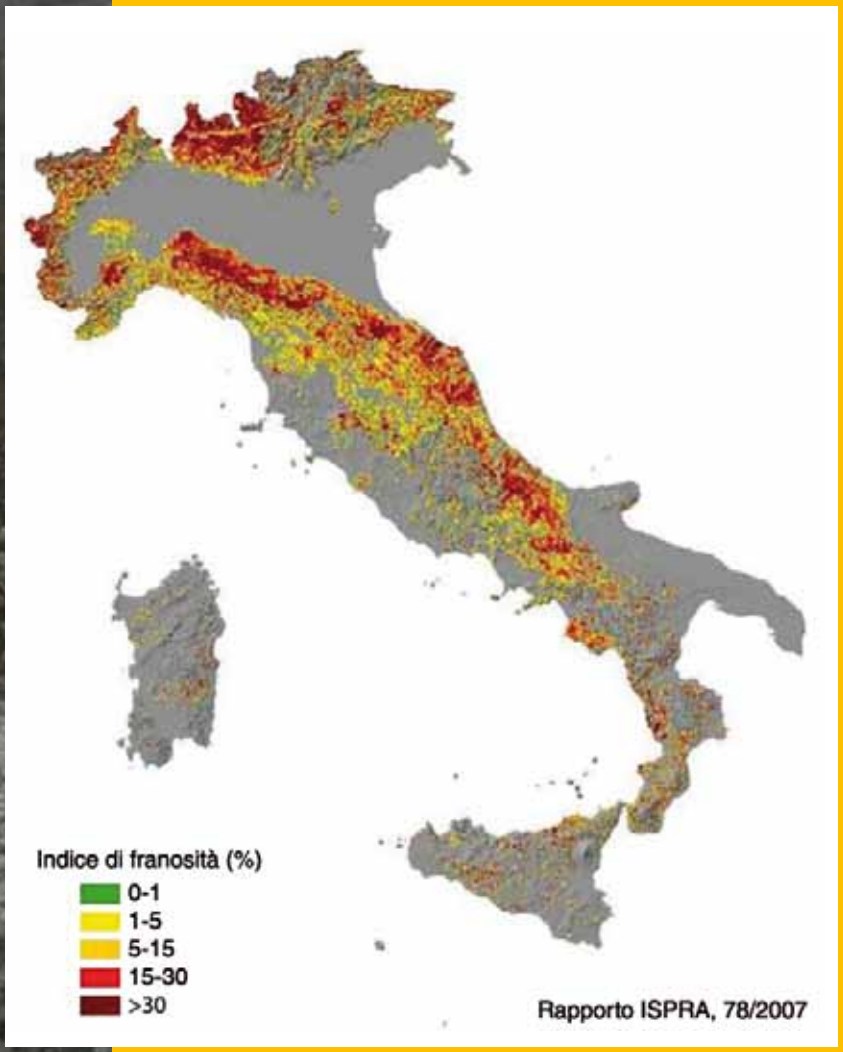


Fig. 1 Indice di franosità, derivato dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia. (Fonte: Rapporto ISPRA, 78/2007.)

La scelta del tipo di approccio dipende dalla tipologia di frana e dallo scopo del monitoraggio: i metodi basati su campagne di misura, che non consentono un'elevata frequenza dei rilevamenti, sono adatti a misure di lungo periodo, mentre i sistemi fissi consentono di eseguire monitoraggi continui e quindi si prestano anche alla realizzazione di sistemi di allerta, con fini di protezione civile.

La necessità di porre sotto attento controllo i territori maggiormente esposti al rischio frane si scontra con la limitata disponibilità di fondi a disposizione degli enti preposti alla tutela idrogeologica del territorio e con i costi, spesso proibitivi, dei sistemi di monitoraggio fissi.

2 La tecnologia MEMS

Con MEMS (acronimo di Micro Electro Mechanical System), o microsistemi, sono indicati una serie di dispositivi costituiti da elementi di dimensioni micrometriche. Tale definizione non implica la presenza di particolari funzionalità e non è in alcun modo restrittiva riguardo alle caratteristiche costruttive. In linea di principio, si tratta di sistemi che al loro interno racchiudono sia componenti meccanici che elettronici. Questi, assemblati opportunamente, costituiscono trasduttori e/o attuatori direttamente interfacciati con l'elettronica di condizionamento e acquisizione del segnale, che è parte integrante del sistema.

L'invenzione del primo transistor avvenuta nei Laboratori Bell nel 1947 diede inizio allo sviluppo della microelettronica, che portò ad un altro traguardo storico nel 1958, quando la Texas Instruments realizzò il primo circuito integrato. I primi passi nell'ambito dei microsistemi furono mossi nel 1954 con la realizzazione di un sensore di pressione al silicio, poi commercializzato nel 1958. Da allora, lo sviluppo dei microsensori si è rivolto alla realizzazione di strutture sempre più complesse, stimolando in tal modo la ricerca, e focalizzandola sul miglioramento dei processi costruttivi. La crescita di questa tecnologia ha portato anche a coniare nuovi termini specifici: per esempio, all'inizio degli anni '80, si diffuse il termine "micromachining" per indicare la fabbricazione delle parti meccaniche dei microsistemi. L'affinamento delle procedure impiegate nel micromachining ha condotto per la prima volta, nel 1987, alla realizzazione di veri e propri micromeccanismi, costituiti da parti in movimento fra loro. In precedenza, ciò non era possibile: si potevano sfruttare solamente le proprietà elastiche dei materiali per ottenere la flessione dei componenti e quindi un loro spostamento relativo. Questo traguardo fondamentale consentì di aumentare considerevolmente la versatilità dei microsistemi, aprendo la strada a nuovi campi applicativi.

La produzione di MEMS coinvolge principalmente tecniche di fotoincisione, che consentono la lavorazione planare dei materiali utilizzati e tecniche di deposizione e/o accrescimento cristallino per creare strutture nella terza dimensione.

Il fatto che queste tecniche prevedano processi in comune con le normali metodologie di produzione dei circuiti integrati rende conveniente l'integrazione fra componenti meccaniche ed elettroniche che possono essere sviluppate parallelamente durante la lavorazione, favorendo in questo modo la riduzione delle dimensioni e, di conseguenza, l'abbattimento dei costi.

L'evoluzione tecnologica dei microsistemi li ha portati a diffondersi in svariati ambiti, sostituendo gradualmente i dispositivi tradizionali. Inoltre, la presenza d'investimenti sempre maggiori fa capire che in futuro, questo passaggio alla tecnologia MEMS sarà sempre più rilevante. Attualmente, i principali campi d'impiego sono:

- automotive, controllo industriale e meccanica: sono realizzati sensori di pressione, sensori inerziali (giroscopi, accelerometri) trovano applicazione nei sistemi di navigazione, nei dispositivi di sicurezza, nel controllo delle vibrazioni, ecc.;
- chimica e biotecnologie: sono impiegati per controlli di flusso, come micropompe da vuoto, per applicazioni sul DNA, ecc.;
- ottica: micro ottica IR, array di micro lenti, diffusori, ecc.;
- dispositivi RF (Radio Frequenza).

La natura low cost dei microsistemi è una delle loro caratteristiche più importanti, soprattutto considerando che le prestazioni raggiunte sono paragonabili e, spesso, migliori di quelle dei dispositivi tradizionali cui si contrappongono.

I principali vantaggi offerti dai microsensori sono:

- costo molto inferiore rispetto alla strumentazione tradizionale;
- elevata sensibilità, grazie alla precisione sub-micrometrica dei processi di produzione;
- dimensioni ridotte (inferiori a 5×5 mm^2), che agevolano la realizzazione di configurazioni multi sensore;
- elevata integrazione fra trasduttore ed elettronica (condizionamento del segnale e conversione A/D), che permette un rapporto segnale/rumore più elevato dei sensori tradizionali;
- bassi consumi, inferiori a 1 mA, principalmente dovuti alle due precedenti caratteristiche;
- robustezza e affidabilità tipiche dei circuiti integrati.

Il sistema di monitoraggio che sarà descritto in seguito sfrutta accelerometri MEMS triassiali, prodotti da ST-Microelectronics. Questo tipo di sensore si basa sulla misura del movimento di una massa inerziale sottoposta all'azione di forze esterne.

Tale massa costituisce una delle armature di un condensatore, realizzato tramite processi di microlavorazione, che ha l'altra armatura solidale con lo chassis del sensore. L'azione di una forza esterna è in questo modo convertita in una variazione capacitiva, dovuta al cambiamento della

posizione reciproca delle due armature. Date le dimensioni micrometriche, il condensatore è realizzato con una struttura a pettine (fig. 2), che consente di massimizzare l'area delle armature, con variazioni capacitive misurate dell'ordine di 0,1 pF.

Questi accelerometri possono essere utilizzati come inclinometri misurando le componenti della forza di gravità, che si scompone in maniera differente sui tre assi del sensore, al variare dell'inclinazione dell'accelerometro e sono in grado di misurare variazioni angolari dell'ordine di 2×10^{-4} rad.

L'elaborazione dei dati forniti dal sensore deve necessariamente tenere conto dell'effetto della temperatura sui valori di tensione in uscita sugli assi dei sensori. Infatti, cambiamenti di temperatura inducono variazioni nel livello di zero dei singoli assi (livello di tensione fornito quando l'asse è perpendicolare alla forza di gravità). Il costruttore fornisce informazioni statistiche sulla dipendenza dalla temperatura dei sensori, ma per ottenere risultati migliori occorre definire con precisione il coefficiente di deriva termica per ogni asse di ciascun sensore impiegato.

Oltre all'effetto della temperatura è necessario considerare il comportamento raziometrico delle uscite, che ha come conseguenza una loro dipendenza dalla tensione d'alimentazione. Nel caso ideale in cui quest'ultima sia perfettamente costante, con valore di 3,3 V, tensione d'alimentazione e uscite sono legati da una relazione lineare. Tuttavia, poiché nella realtà sono sempre presenti oscillazioni della tensione in ingresso, per ottenere il massimo della precisione da questo tipo di sensori, occorre introdurre una correzione del second'ordine, che è tanto più importante quanto più ci si discosta dalla tensione d'alimentazione ideale di 3,3 V.

3 Confronto diretto fra inclinometri servomeccanici e accelerometri MEMS

L'esigenza di confrontare direttamente il nostro sistema di misura con un prodotto commerciale di riferimento deriva dalla necessità di verificare sul campo l'attendibilità e i limiti dei rilevamenti effettuati tramite i nostri inclinometri. Le misure inclinometriche sono normalmente eseguite tramite servo-inclinometri monoassiali che sono installati in coppia su un carrello come quello schematizzato nella fig. 3a.

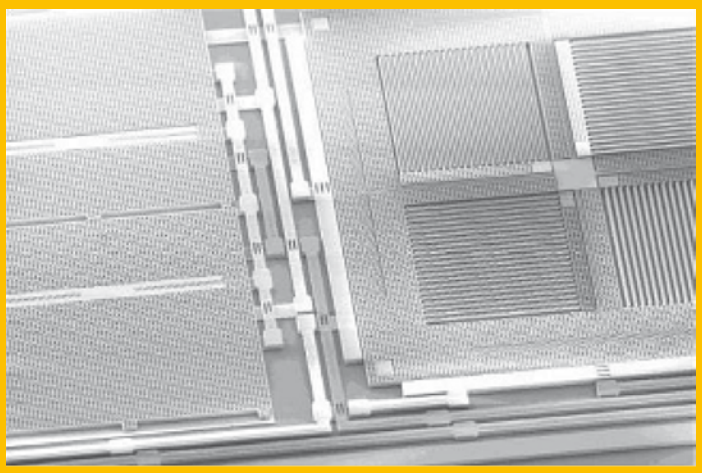


Fig. 2 Esempio di struttura all'interno di un accelerometro MEMS. (Fonte: `http://www.stmicroelectronics.com`, Vigna B., 12 breakout mems smart-sensors, 2009.)

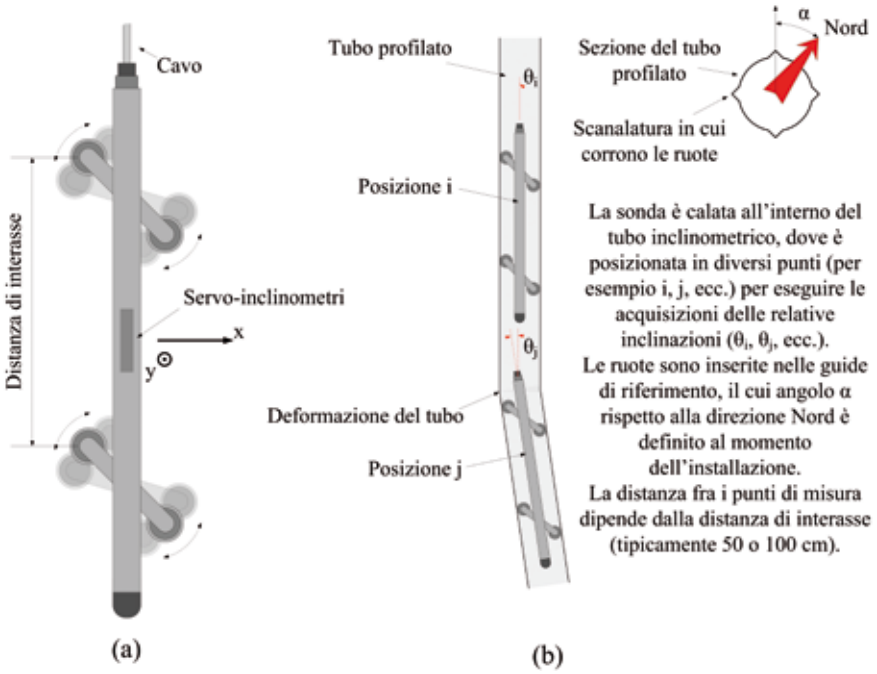
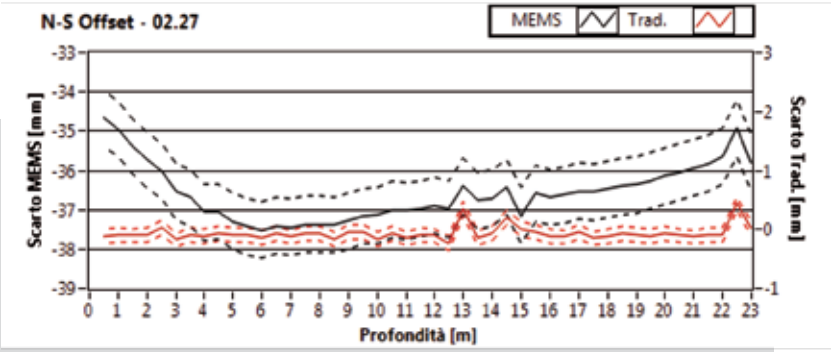


Fig. 3 (a) disegno di una sonda inclinometrica utilizzata per monitorare l'evoluzione dei fronti franosi; (b) esempio del funzionamento di una sonda inclinometrica all'interno di una perforazione attrezzata con tubo profilato.



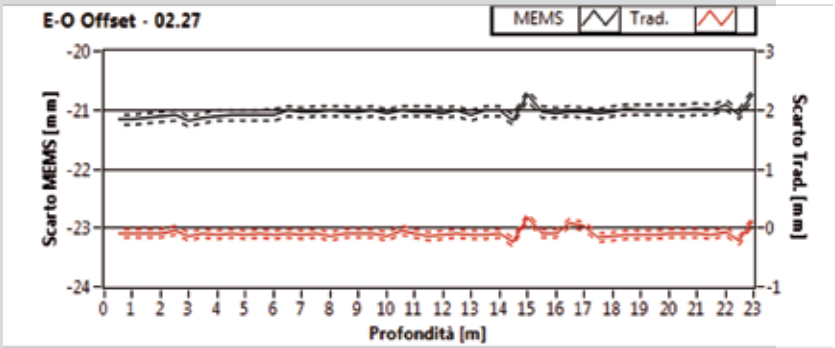
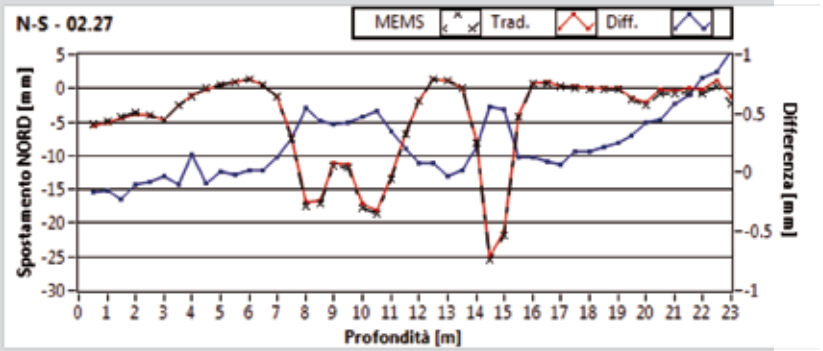


Fig. 4 Grafici che rappresentano lo scarto sulle misure (in mm) lungo le due direzioni di riferimento, dopo la correzione della deriva termica e della tensione d'alimentazione, per i due inclinometri: quello basato su accelerometro MEMS (linea nera continua) e quello "tradizionale" usato come riferimento (linea rossa continua). A ognuna delle curve continue ne sono associate due tratteggiate: una e ottenuta sommando alla curva continua la deviazione standard calcolata sui suoi valori, l'altra si ricava invece sottraendo la deviazione standard.



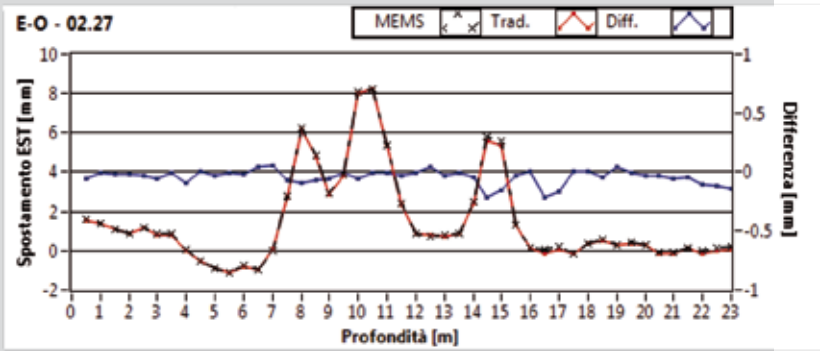


Fig. 5 Grafici degli spostamenti differenziali (in mm) dopo le correzioni, lungo le due direzioni di riferimento, per i due inclinometri: quello basato su accelerometro MEMS (linea nera continua) e quello "tradizionale" usato come riferimento (linea rossa tratteggiata). Poiché i valori sono molto simili, è stata aggiunta una curva (curva blu continua, con markers) che rappresenta la differenza fra le due curve precedenti e che fa riferimento alla scala sulla destra del grafico.

Come si vede dalla fig. 3a, il carrello è costituito da due braccia mobili dotate di ruote alle estremità. Esse sono collegate al corpo centrale tramite un perno e, mantenute nella posizione di massima estensione da una molla, sono capaci di ruotare di un angolo limitato. All'interno del corpo centrale sono collocati i servo-inclinometri, con gli assi sensibili orientati come nella fig. 3a. Le perforazioni per il monitoraggio delle frane sono attrezzate con un tubo profilato, come quello illustrato nella fig. 3b. Al momento dell'installazione, si misura l'angolo α formato dalle scanalature del tubo con la direzione Nord (fig. 3b), in modo da fornire un riferimento per le misure. Quando la sonda è inserita nel tubo inclinometrico, le sue ruote sono collocate all'interno delle guide in modo che gli inclinometri siano orientati lungo le direzioni indicate dalle scanalature del tubo: conoscendo l'angolo α fra queste e le direzioni Nord-Sud e Est-Ovest, è possibile orientare il profilo inclinometrico, che si costruisce con le misure, rispetto ai punti cardinali.

Per ricostruire la deformazione del tubo [2] si misura l'inclinazione della sonda inclinometrica sui due assi *x* e *y* indicati nella fig. 3a. Rilevando tali valori a intervalli di profondità regolari definiti dalla distanza d'interasse (fig. 3a), si può costruire la *deformata*, cioè una spezzata che approssima la forma del tubo. I segmenti di tale spezzata, hanno inclinazione fornita dai valori suddetti e lunghezza pari alla distanza fra i punti di misura. Minore è la distanza fra essi, maggiori sono l'accuratezza con cui si può ricostruire il profilo del tubo inclinometrico e il tempo necessario per l'intera operazione. In genere le acquisizioni sono ripetute a distanza di 0,5–1 m (pari alla distanza di interasse) e la profondità si misura tramite apposite tacche presenti sul cavo che regge la sonda. Poiché gli assi di riferimento sono due (*x* e *y*), per ogni punto di misura si hanno due valori dell'inclinazione e, perciò, al termine delle acquisizioni si ricavano due serie di dati.

Il primo punto di misura è quello a maggiore profondità e le acquisizioni si svolgono come segue: inizialmente la sonda è calata sul fondo della perforazione, dove è lasciata per il tempo necessario a stabilizzarne la temperatura; quando ciò è avvenuto, si memorizza il valore d'inclinazione fornito dallo strumento e si colloca la sonda nel punto di misura

successivo (a minore profondità del precedente); per ognuno di questi punti si deve attendere la stabilizzazione del valore di tensione fornito e successivamente si può procedere memorizzando il dato e passando alla posizione seguente.

Per eliminare eventuali errori sistematici della misura si esegue una seconda serie di acquisizioni che si svolge allo stesso modo della precedente, ma ruotando di 180° la sonda inclinometrica: quest'operazione coincide con l'inversione del verso degli assi *x* e *y* degli inclinometri rispetto alle guide della perforazione. Come per la prima misura, al termine delle acquisizioni, si ottengono due serie di dati.

Calcolando per le due direzioni la semidifferenza fra le serie di dati raccolte durante le due misure, si ottiene il valore dell'inclinazione, in funzione della profondità, corretta dall'offset di misura, che può invece essere ricavato calcolando la semisomma delle serie di dati.

I test di confronto sono stati svolti in collaborazione con i geologi del Servizio Lavori Speciali Opere pubbliche della Provincia di Modena, che ci hanno messo a disposizione il sito di misura sulla frana della Biricuccola, nell'Appennino modenese, e la strumentazione da loro normalmente utilizzata per questi monitoraggi. Le campagne di misura sono state due: la prima il 27 febbraio 2009 e la seconda il 27 ottobre 2009. In entrambi i casi, abbiamo eseguito i test installando il nostro inclinometro su uno strumento di riferimento: sonda inclinometrica commerciale prodotta da Sisgeo, tipo S060041 (con risoluzione di 0,01 mm per 500 mm, equivalente a 2×10^{-5} rad), associata alla centralina ARCHIMEDE (n. matricola 20060398). Fissando il nostro sensore al carrello della sonda inclinometrica "tradizionale", abbiamo potuto eseguire le misure di inclinazione simultaneamente allo strumento di riferimento.

Il sondaggio oggetto del monitoraggio è profondo 23 m e, in entrambi i test, le misure sono state effettuate ogni 50 cm (per via del passo fra le ruote del carrello).

Viene presentato un consuntivo dei risultati ottenuti con il nostro sistema, affiancati a quelli ricavati dall'elaborazione dei dati forniti dalla sonda di riferimento.

Nei grafici di fig. 4 sono rappresenti i valori dell'offset, espresso in funzione della profondità per entrambe le direzioni di interesse, dopo aver applicato le correzioni della deriva termica e della tensione di alimentazione.

Nel confronto fra i due sensori si denota un ottimo accordo fra i dati, dato che la presenza dei picchi è dovuta alle caratteristiche geometriche del sistema di misura e dipende dalle deformazioni del tubo profilato. Quindi, lo stesso andamento delle curve dell'offset dei due sensori costituisce un primo risultato positivo del test di verifica per l'inclinometro MEMS.

L'ampiezza dei picchi nelle curve, rappresentativa dell'errore dovuto all'asimmetria del sistema di misura, è inferiore al millimetro. Ciò indica l'accordo fra i dati delle due sonde: difatti, il sensore MEMS si avvicina ai risultati dell'inclinometro servo-meccanico, anche per misure di spostamenti al limite della sua sensibilità.

I grafici nella fig. 5, mostrano lo spostamento differenziale in funzione della profondità per le direzioni Nord-Sud ed Est-Ovest per le due sonde confrontate, dopo l'applicazione delle correzioni per le variazioni della tensione di alimentazione e della temperatura relative ai dati acquisiti.

Per meglio evidenziare la differenza dei valori delle due curve, che non appaiono in quanto sovrapposte, è stata messa in grafico la curva in blu per indicare la differenza, espressa in mm, fra le curve relative ai due inclinometri.

Il valor medio e la deviazione standard, calcolati sulla differenza fra le curve corrette, sono:

- $D_{m,N\text{-}S} = 0{,}11$ mm, $\sigma_{D,N\text{-}S} = 0{,}17$ mm per la direzione Nord-Sud;
- $D_{m,E\text{-}O} = -0{,}02$ mm, $\sigma_{D,E\text{-}O} = 0{,}09$ mm per la direzione Est-Ovest.

Le correzioni non sono state introdotte per minimizzare la differenza fra le due curve, ma per ottenere un andamento costante da parte dell'offset, partendo dai valori ricavati sperimentalmente per le caratteristiche del sensore.

Questa prova, infatti, non ha lo scopo di calibrare il nostro sistema in base ai risultati della sonda di riferimento, ma di confrontare le curve ricavate con l'inclinometro MEMS, dopo avere eseguito una taratura in laboratorio e basandosi su dati svincolati dall'altra sonda, come per esempio l'andamento dell'offset (vedi fig. 4).

Terminiamo la descrizione del confronto fra servo-inclinometri e accelerometri MEMS con la fig. 6, dove sono riportati tre grafici che mettono a confronto i risultati delle sonde sui due test:

- quello a sinistra rappresenta il modulo dello spostamento integrale (lo spostamento integrale su una direzione si ottiene integrando i valori degli spostamenti differenziali su quella direzione), in funzione della profondità, per entrambe le campagne di misura;
- quello in alto a destra rappresenta lo spostamento integrale, espresso in coordinate polari, per le due sonde, nel primo test;
- quello in basso a destra è analogo al grafico precedente, ma per l'ultima campagna di misura.

Si può notare un ottimo accordo fra i dati ottenuti con il nostro inclinometro MEMS per la rappresentazione della deformazione del tubo inclinometrico, indicativa del movimento del fronte della frana.

4 Il sistema di monitoraggio fisso

Questo sistema è stato ideato con l'intento di proporre un approccio innovativo al monitoraggio dei fenomeni franosi. Esso possiede le principali caratteristiche dei sistemi

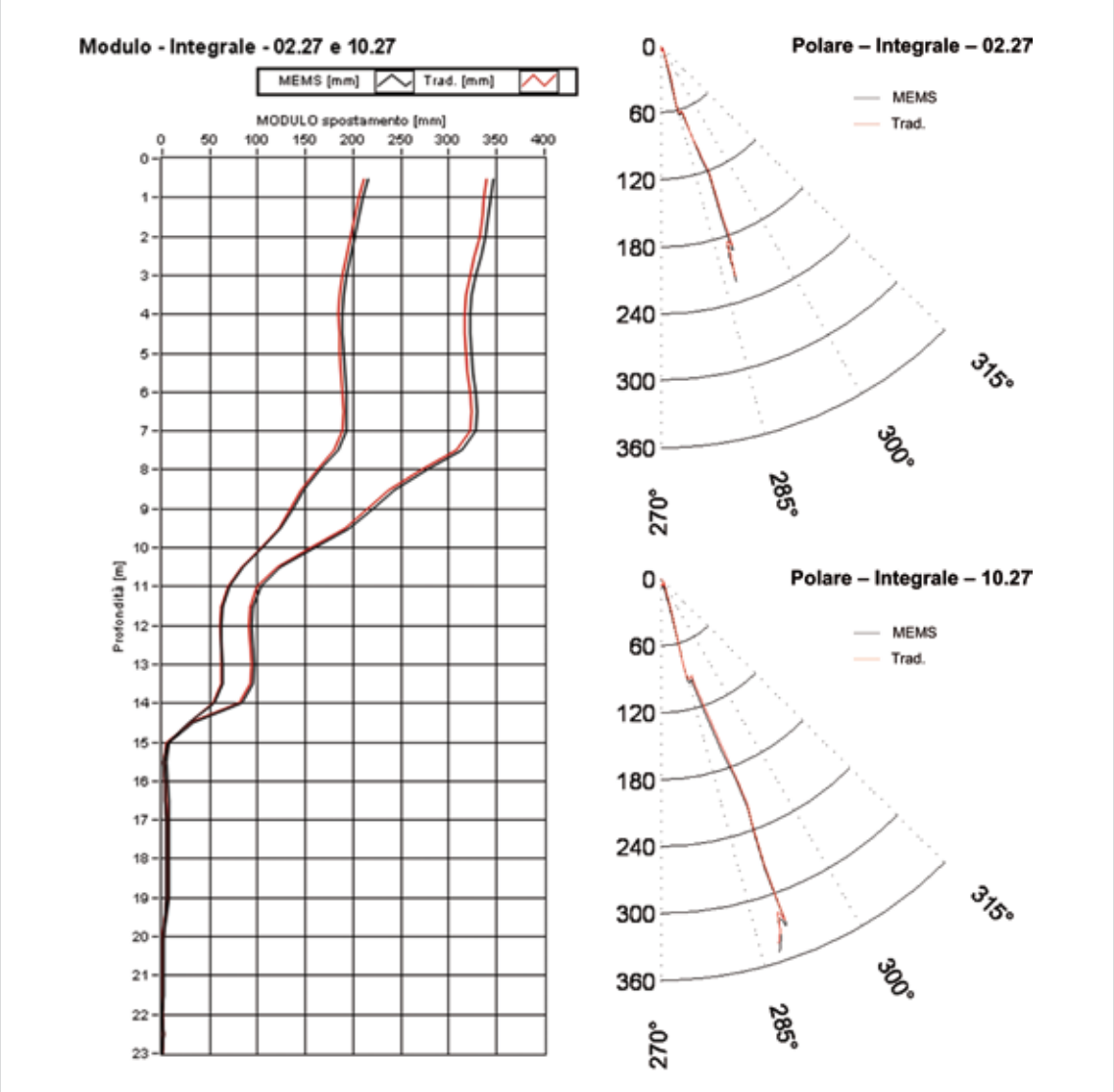


Fig. 6 Il grafico a sinistra rappresenta il modulo dello spostamento integrale in funzione della profondità, per entrambe le campagne di misura. Le curve in nero si riferiscono all'inclinometro MEMS, quelle in rosso a quello di riferimento. I due grafici a destra rappresentano lo spostamento integrale in coordinate polari (270° corrisponde a Sud). Quello in alto riporta i risultati della prima campagna di misura e quello in basso i risultati dell'ultima. Anche in questi grafici sono messi a confronto, l'inclinometro MEMS (nero) e quello Sisgeo (rosso).

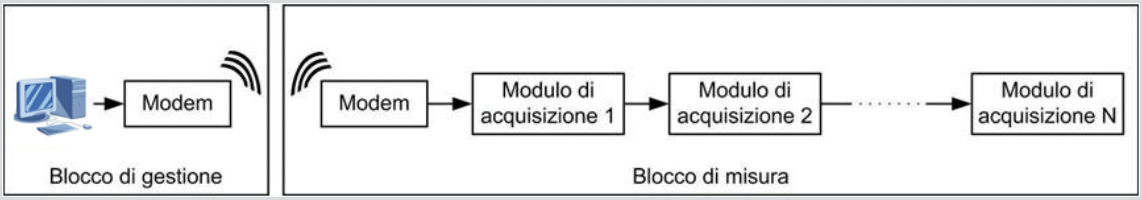


Fig. 7 Schema a blocchi del sistema di monitoraggio, rappresentato in base alle sue caratteristiche di modularità.

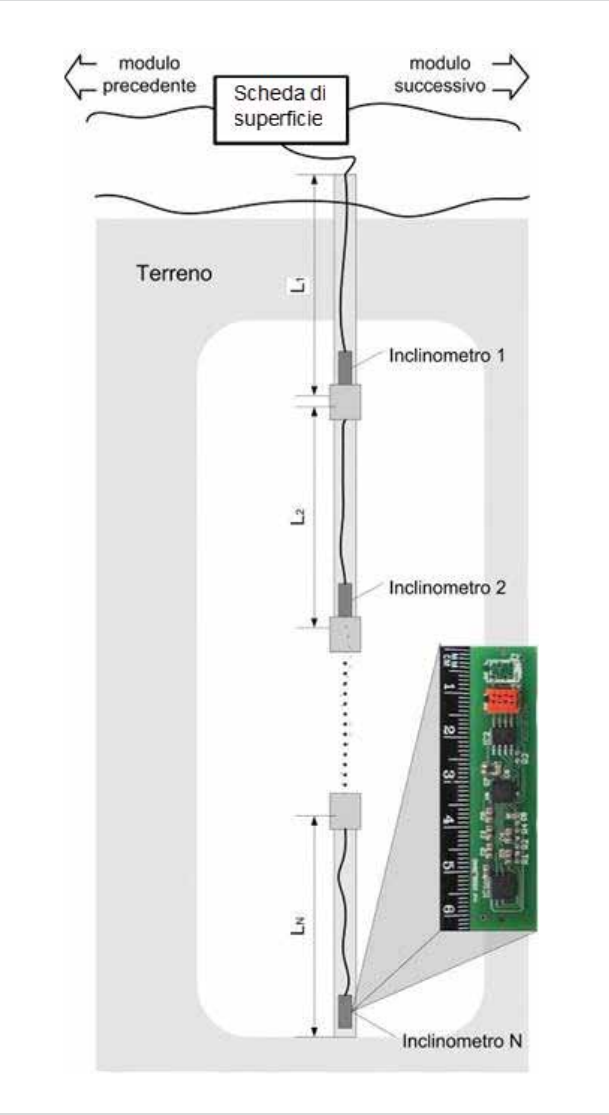


Fig. 8 Schema illustrativo di un blocco di misura inserito nel terreno. Sono illustrati: la scheda di superficie; i segmenti dell'ago; gli inclinometri, con la foto di uno di essi affiancato ad una scala centimetrata.

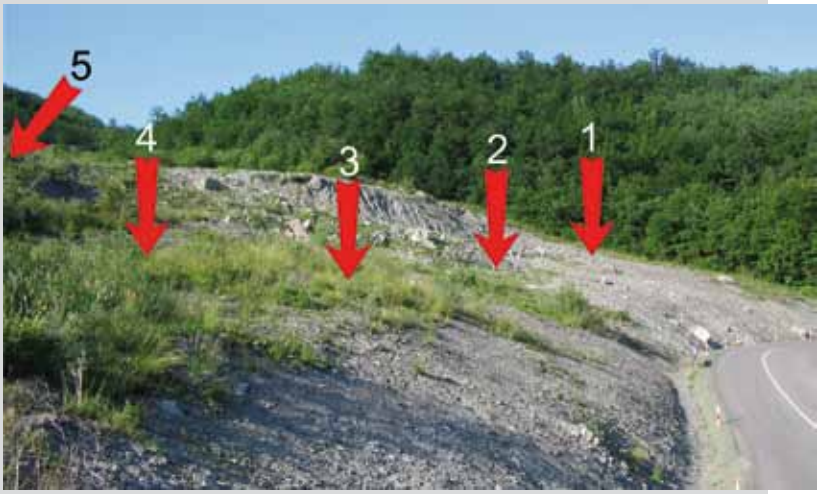


Fig. 9 Immagine del fronte della frana di Lezza Nuova (Appennino modenese) su cui è installato il prototipo del sistema di monitoraggio "fisso". Le frecce indicano i punti in cui sono state eseguite le perforazioni e in cui sono collocati i blocchi di misura.

inclinometrici fissi, basati su sensori tradizionali, unitamente ad un abbattimento dei costi realizzativi e della gestione.

L'utilizzo di accelerometri MEMS, in luogo dei tradizionali inclinometri, rappresenta l'innovazione tecnologica che ha reso possibile la realizzazione del sistema di monitoraggio descritto in quest'articolo.

L'apparato è adattabile a qualsiasi situazione di misura e quindi alla morfologia del fronte franoso da monitorare.

Nella fig. 7 è possibile vedere una schematizzazione che evidenzia le parti principali del sistema.

Il blocco di gestione, in grado di controllare più blocchi di misura (più frane), è costituito da un computer che, tramite un apposito software, esegue le chiamate via modem, archivia i dati e li analizza.

Il blocco di misura comprende un modem e uno o più moduli di acquisizione. Il numero e la configurazione di questi ultimi, dipende dal numero di punti in cui si desidera compiere le misure, dalla profondità cui occorre arrivare e dalla risoluzione che si vuole ottenere nel definire il profilo delle superfici di scorrimento.

Nella fig. 8 è illustrato, in maniera schematica, un modulo di acquisizione, che comprende:

- Una scheda di superficie con il compito di fornire alimentazione e gestire gli inclinometri connessi. Queste schede possono essere collegate in serie fra loro, nel caso in cui vi siano più perforazioni e quindi più punti in cui eseguire il monitoraggio.
- Un "ago", composto di N tubi d'acciaio inox di lunghezza L_i, collegati fra loro da un giunto cardanico. Tali tubi sono cavi e all'interno di ognuno si trova un inclinometro, rigidamente vincolato al tubo, che consente di misurarne l'inclinazione. I sensori sono connessi in parallelo, tramite un cavo flat a 4 poli che va dalla scheda di superficie fino all'ultimo inclinometro.

In sede di progettazione del sistema, oltre a poter decidere il numero di moduli di acquisizione, è possibile variare, secondo le circostanze, il numero N di sensori e la lunghezza L_i di ciascun tubo. In questo modo si agisce sulla risoluzione della misura e sulla possibilità di raggiungere maggiori profondità.

Il prototipo installato sulla frana di Lezza Nuova è costituito da 5 blocchi di misura (collocati nei punti indicati nella fig. 9), ciascuno con 6 segmenti di 2 m, ognuno munito di un inclinometro, per una profondità totale di 12 m.

Nella fig. 10 è mostrato un ago, durante l'inserimento nel terreno. Si vedono i segmenti,

Fig. 10 Immagine che mostra un ago durante l'inserimento nel terreno.

Fig. 11 Immagine che mostra come appare un blocco di misura dopo l'installazione. È possibile vedere: l'alloggiamento della batteria; il contenitore che racchiude la scheda di superficie; il tubo in PVC (arancione) dentro cui è inserito l'ago, mantenuto in posizione da un distanziale.

collegati fra loro dai giunti cardanici e il tubo in PVC (arancione) in cui è inserito l'ago.

Nella fig.11 è possibile osservare come appare in superficie il blocco di misura collocato nella posizione 1 (vedi fig. 9), vicino al quale si vede anche l'alloggiamento della batteria che alimenta il sistema. La scheda di superficie è collocata all'interno del contenitore indicato, che la protegge dagli eventi atmosferici.

La gestione dell'apparato è affidata a un software realizzato in ambiente di sviluppo LabVIEW. Questo, come già anticipato, permette all'utente di pianificare le interrogazioni automatiche. A occuparsi di queste acquisizioni è un servizio di sistema, installato nel PC su cui risiede il software, che si attiva all'avvio del computer. Gli orari delle acquisizioni possono essere liberamente scelti nell'arco delle 24 ore di una giornata.

Oltre a gestire le interrogazioni, il software consente di analizzare i dati raccolti, attraverso alcuni strumenti appositamente realizzati. In particolare, per ciascun modulo di acquisizione è possibile visualizzare due grafici, tipicamente utilizzati in questo tipo di studi: il diagramma polare, che rappresenta vettorialmente gli spostamenti dei tubi che compongono l'ago; la risultante dello spostamento, che ne indica il modulo (vedi fig. 6).

La costruzione di questi grafici avviene trigonometricamente, partendo dalle misure d'inclinazione dei singoli tubi e dalla loro lunghezza. Inoltre, ogni rappresentazione di questo tipo può essere rapportata a un preciso intervallo temporale definito dall'utente, al fine di poter valutare le variazioni del sistema sia su lunghi che brevi periodi.

Va ricordato che con questo sistema è possibile compiere un numero elevato di acquisizioni, creando in questo modo un database molto ricco, dal quale ricavare curve di tendenza dei vari parametri d'interesse, che possono costituire un valido strumento di studio e un possibile sistema di allarme, potendo avere una raccolta dati con cadenza dell'ordine del minuto.

Dal momento dell'installazione, avvenuta a fine gennaio del 2007, il sistema ha subito modifiche mirate a correggere alcuni problemi riguardanti principalmente la parte meccanica del progetto.

I risultati raccolti nell'ultimo periodo di funzionamento hanno evidenziato un accordo fra i dati e la situazione riscontrata sulla frana.

Conclusione

Il lavoro di ricerca svolto per lo sviluppo di questo sistema di misura ha permesso di raggiungere risultati positivi per l'impiego degli accelerometri MEMS nelle misure inclinometriche di monitoraggio delle frane.

La validità di un sistema di questo tipo è subordinata al superamento di diversi fattori di criticità, fra cui: la risoluzione dei sensori, la ripetibilità delle misure, la longevità della strumentazione e il suo costo.

È importante considerare che i sensori MEMS nascono per rispondere a esigenze ben diverse da quelle per cui sono stati utilizzati in questo progetto. I produttori, infatti, popolano i loro cataloghi basandosi sui settori del mercato in cui è possibile vendere grandi quantità di componenti (anche decine di milioni). Questo discorso vale in particolare per gli accelerometri che, assieme ai giroscopi MEMS, sono largamente diffusi nei sistemi di posizionamento, ormai parti integranti di molti oggetti che usiamo nella vita quotidiana (cellulari, GPS, playstation, hard disk, ecc.).

Una prova di quanto detto viene dal fatto che, per quanto riguarda gli accelerometri, non c'è un reale interesse dei progettisti delle case produttrici ad aumentarne la risoluzione. Al momento della redazione di questo articolo, i sensori utilizzati in questo sistema di misura (LIS3L02AL di ST-Microelectronics) sono stati sostituiti sul mercato dalla generazione successiva (LIS344ALH). Le principali differenze, fra questo nuovo prodotto e quello da noi utilizzato, risiedono nelle dimensioni e nel consumo, mentre la risoluzione è rimasta la stessa, come anche la dipendenza dalla temperatura del livello di zero e della sensibilità. Ovviamente queste migliorie sono vantaggiose, poiché la riduzione dei consumi permette di aprire la strada a nuove soluzioni e ambiti di utilizzo.

Le prove eseguite per confrontare le sonde inclinometriche basate su MEMS e uno strumento commerciale equipaggiato con inclinometri servo-meccanici, hanno confermato che gli accelerometri da noi utilizzati sono idonei per questo tipo di misure. Nonostante essi siano dotati di una risoluzione di 2×10^{-4} rad, mentre gli inclinometri servo-meccanici raggiungono 2×10^{-5} rad, tale divario è attenuato dalle caratteristiche complessive del sistema di misura

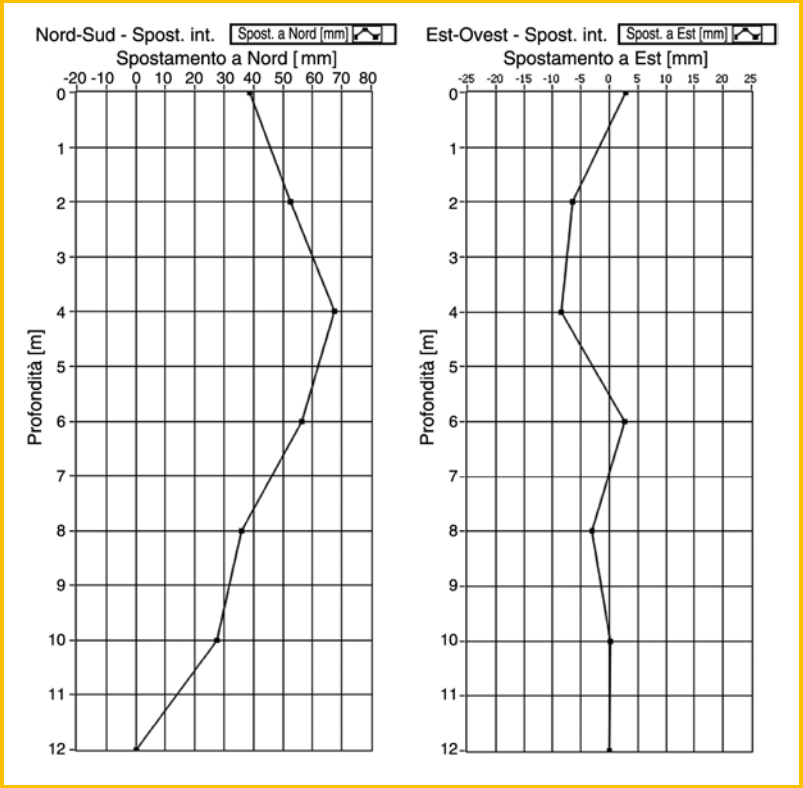


Fig. 12 Grafici dello spostamento integrale in funzione della profondità, per il punto di misura 1 (vedi fig. 9). Uno riguarda la direzione Nord-Sud, l'altro la direzione Est-Ovest. Il periodo di riferimento va dal 24 settembre 2009 al 7 febbraio 2010.

e del sito di monitoraggio.

Gli errori che intervengono, a causa dei giochi presenti nelle parti meccaniche che costituiscono il carrello su cui è installata la sonda, contribuiscono ad assottigliare il divario prestazionale fra i sensori. Inoltre, le guide dei tubi inclinometrici, col passare del tempo diventano irregolari, poiché subiscono forti pressioni all'interno della frana (che ne modificano la forma) e sono soggette a incrostazioni, talvolta in grado di rendere inutilizzabile un sito di misura. Queste ipotesi sono confermate dai risultati che abbiamo ottenuto con i confronti, e quindi riteniamo che l'inclinometro MEMS, se opportunamente calibrato, possa essere utilizzato per queste misure, limitando al 2−3% l'errore commesso rispetto a una sonda di maggiore sensibilità. Questo primo risultato costituisce la premessa necessaria per l'affermazione del sistema di monitoraggio fisso.

I risultati ottenuti con il prototipo installato sulla frana di Lezza Nuova, permettono di costatare che gli spostamenti rilevati sono in accordo con la situazione riscontrata sulla frana.

Uno dei vantaggi più interessanti offerti da questo sistema di misura è la notevole quantità di dati che possono essere raccolti. Da novembre 2009, infatti, le acquisizioni sono eseguite con frequenza oraria, in maniera completamente automatica.

Concludendo, possiamo riassumere come segue le principali caratteristiche del sistema di monitoraggio descritto:

- Completo automatismo, che permette di risparmiare risorse umane e quindi economiche, consentendo di avere un maggiore numero di dati, non essendo la loro raccolta vincolata a campagne di misura (come nel caso delle sonde inclinometriche manuali), fra le quali di solito intercorrono mesi.
- Un aumento della durata operativa del sito di misura. Le tecniche tradizionali sfruttano un carrello equipaggiato con un servo-inclinometro. Esso è calato all'interno di un tubo munito di guide, che penetra in profondità nel terreno fino a raggiungere lo strato fisso sotto la frana. I movimenti degli strati franosi deformano il tubo fino a renderlo inutilizzabile (già per slittamenti dell'ordine di 10 cm/m) per cui, per proseguire il monitoraggio, è necessaria una nuova perforazione del terreno. Il sistema da noi proposto invece, richiede una perforazione solo al momento dell'installazione, potendo seguire movimenti è possibile una considerevole diminuzione delle spese, grazie al basso costo della strumentazione, ma soprattutto imputabile a spese di gestione molto contenute, con massimizzazione dell'informazione e la capacità di giudicare iniziative da intraprendere ai fini della sicurezza dell'ambiente circostante la frana.

Ringraziamenti

Si ringrazia il personale del Servizio Lavori Speciali Opere Pubbliche della Provincia di Modena per la fattiva collaborazione, la ST-Microelectronics per la fornitura a titolo gratuito dei sensori impiegati nella realizzazione del prototipo del sistema di monitoraggio e il personale dell'officina meccanica e del laboratorio di elettronica del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Ferrara, per la preziosa collaborazione.

Bibliografia

[1] A. Triglia and C. Iadanza, *"Il Progetto IFFI - Metodologia, risultati e rapporti regionali"* Rapporto sulle frane in Italia (APAT, Roma) 2007.

[2] American Society for Testing and Materials - D4622-86 (ASTM), "*Standard Test Method for Rock Mass Monitoring Using Inclinometers"* (1993).

[3] M. Panizza, "*Geomorfologia Applicata*" (La Nuova Italia Scientifica, Roma) 1988.

[4] D. M. Cruden and D. J. Varnes, *"Landslides types and processes"*, in *"Landslides: Investigation and Mitigation - Transportation Research Board Special Report",* vol. 247 (National Academy Press, WA) 1996, p. 36.

[5] S. D. Senturia, *"Microsystem Design"* (Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA) 2001.

[6] N. Maluf and K. Williams, *"An introduction to microelectromechanical systems engineering"* (Artech House, USA) 2004.

[7] J. G. Korvink and O. Paul, *"MEMS: A Practical Guide to Design, Analysis, and Applications"* (Noyes Publications) 2005.

[8] Kionix, *"AN 012: Accelerometer errors"* (2007). Disponibile alla pagina web: `http://www.kionix.com/sensors/application-notes.html`

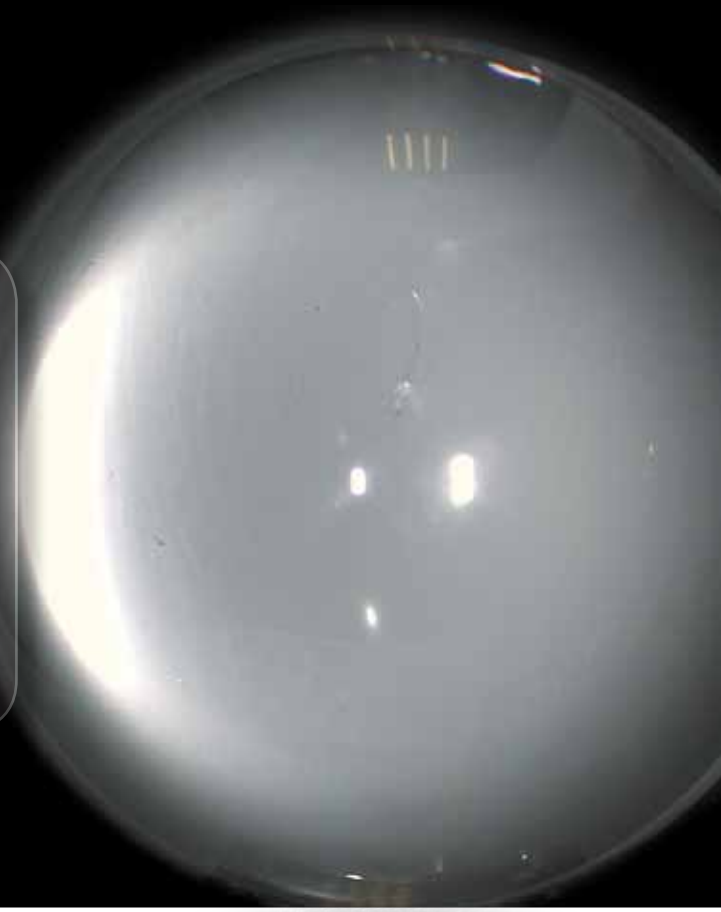
Francesco Pedrielli

Francesco Pedrielli, Professore Associato di Fisica (Fis07) all'Università degli Studi di Ferrara. Ha fatto ricerca nei campi della fisica delle radiazioni, acustica e ultrasuoni, strutturistica e sismica, biomedicale, gravitazione, automazione industriale, biocarburanti, riciclo materiali, geotecnica. Ha maturato una particolare esperienza nello sviluppo di strumentazione automatica con utilizzo intensivo dell'analisi dei segnali (FFT, auto e cross correlazione), del monitoraggio ambientale sia con utilizzo di strumentazione tradizionale che con strumenti innovativi sviluppati *ad hoc*. Esperto di relazioni università-industria è risultato assegnatario di progetto di ricerca Industria 2015 assieme a ricercatori di altre università nel recupero di materiali da riciclo (car fluff) con particolare utilizzo di tecnologie a microonde. Ha lavorato con i maggiori centri di ricerca in Italia (Fiat, ENEL, Montedison, ENEA, SIP) e con alcuni all'estero (Russia, Stati Uniti, Francia, Germania). Negli ultimi anni ha associato alle ricerche su vibrazioni e acustica, quelle d'interesse geotecnico sviluppando un sistema di misura del movimento dei fronti di frana.

DALLA LEGGENDA DEI MATERIALI ALLA MAGIA DEL VETRO

PAOLO MAZZOLDI
Dipartimento di Fisica, Università di Padova, Italia

A ridosso dell'anno galileiano, si propone un viaggio suggestivo che inizia, con l'aiuto di Plinio il Vecchio, dal mondo dei materiali e prosegue in quello del vetro, dalla sua scoperta in Mesopotamia, alle opere egizie e romane, tra leggende, mitologia e storia. Poi la magia delle vetrate, la lavorazione del vetro a Venezia, le implicazioni ottiche, la realizzazione degli occhiali e l'avvento del cannocchiale, fino alla "riscoperta" delle nanotecnologie, già inconsciamente sviluppate nel IV sec. d.C. dai Romani e alla fine del 900 a.C. in Mesopotamia.



1 Agli albori della Scienza e della Tecnologia dei Materiali

La Scienza e Tecnologia dei Materiali nasce e si sviluppa assieme alla storia dell'*Homo sapiens,* che coincide con quella dell'*Homo faber*, ed è manifestazione di quello spirito di intraprendenza e di inventiva che caratterizzò l'uomo fino dagli inizi della sua lunga storia. L'uomo si è sempre servito dei materiali e degli oggetti presenti in natura per realizzare utensili che gli semplificassero la vita.

Nella fase iniziale del suo percorso tecnico-scientifico l'uomo si è avvalso, per la costruzione di contenitori ed utensili, di materiali di origine vegetale, come il legno, o di origine animale, come l'avorio, l'osso ed il corno, oppure di origine minerale, come la pietra, l'argilla, i metalli e le loro leghe, arrivando nel III mill. a.C. al …vetro. L'uomo del paleolitico, il periodo più antico della preistoria iniziato circa 2 milioni di anni fa e durato fino al termine della quarta e ultima glaciazione (8500 a.C. circa), accorgendosi che scheggiando una selce otteneva delle scaglie molto taglienti, imparò a realizzare coltelli, raschiatoi, seghe ed oggetti simili. Nell'età neolitica, ultimo periodo dell'età della pietra, i cui inizi datano tra il IX ed il VII mill. a.C. a seconda dei luoghi, l'uomo riuscì a costruire utensili accuratamente levigati. Dopo la pietra, la seconda conquista dell'uomo fu la terracotta: modellando l'argilla umida, che una volta cotta acquistava durezza ed impermeabilità, l'uomo poté realizzare contenitori e vasi. Seguì la scoperta della metallurgia, che permetteva tramite il calore di ottenere un metallo tale da poter essere forgiato nelle forme più varie. Il periodo calcolitico, o eneolitico, è caratterizzato dal processo di lavorazione del rame, come indica il suo nome greco, χαλκός. L'uso del rame è testimoniato dal VII al V mill. a.C. in Asia, nel VI–IV mill. a.C. in Egitto e successivamente a Creta e

Cipro. Il rame però presentava una certa morbidezza, che lo rendeva inadatto a certi usi: pertanto furono sperimentati vari tipi di leghe, finché si arrivò alla scoperta del bronzo, intorno al 3000 a.C., che è una lega rame-stagno. Le armature degli eroi della guerra di Troia, come indicato da Omero nell'*Iliade*, erano di bronzo e lucenti (χαλκοθώραξ). Cominciò quindi quella che è indicata come l'età del bronzo. Quanto alla lavorazione del ferro, essa si diffuse in Occidente tra il X e IX sec. a.C. Pur essendo gli artigiani romani esperti nell'uso di vari metalli, come l'oro, l'argento, il rame ed il ferro, Ovidio (43 a.C. −17 d.C.) nelle *Metamorfosi* narra di un'età dell'oro, dell'argento, del bronzo e del ferro senza un collegamento cronologico.

La tradizione ascrive la scoperta e l'uso di diversi metalli a popoli mitici, in cui si possono ravvisare consorterie depositarie dei segreti delle tecniche di lavorazione. Tra questi troviamo i Dattili, originari dell'Ida nell'isola di Creta, il cui nome significa dita: erano dieci, primi minatori e fonditori di metalli. Essi sono collegati al culto di Rea e furono creati dalla pressione delle dita della dea contro la terra durante le doglie che precedettero la nascita di Zeus. Ritenuti scopritori del ferro e della lavorazione dei metalli, i loro nomi di fabbri erano collegati a strumenti di lavoro, come ad esempio Chelmis-coltello, Damnameneo-martello e Acmon-incudine. I Cureti, mitico popolo ritenuto il più antico abitatore dell'Acarnania e dell'Etolia nota anche come Curetide, sacerdoti di Zeus a Creta e seguaci della dea Rea, per primi estrassero e lavorarono il rame dell'Eubea, isola della Grecia nel mare Egeo. Tra gli esperti nella lavorazione dei metalli troviamo anche i Coribanti, accoliti della dea Cibele, forgiatori di lance, spade e scudi; i Cabiri, di provenienza fenicia, stabilitisi a Samotracia; i Telchini che, originari di Creta e passati poi a Cipro e quindi a Rodi, si diceva discendessero da Poseidone e si riteneva fossero delle divinità marine. Essi per primi scoprirono varie arti tra le quali la metallurgia, e proprio per questo furono introdotti nel mito di Efesto, insieme coi Dattili, quali primi fonditori di metalli e perciò quali divinità del fuoco. I Telchini forgiarono il tridente di Poseidone e la falce di Crono. Nei racconti mitologici troviamo le tracce dell'espansione della tecnologia dei metalli dai paesi settentrionali dell'Asia Minore alla Grecia e al Mediterraneo.

Plinio il Vecchio, morto nel 79 d.C. sotto l'eruzione del Vesuvio, in *Naturalis Historia* (*NH*), XXXIII, 1,138, sottolinea che "i metalli sono in sé stessi una ricchezza e insieme il prezzo delle cose": l'uomo, in nome del lusso, scava alla ricerca di oro, argento, elettro (una lega oro-argento, molto apprezzata dai Greci per monete), rame e pietre preziose; ma è il ferro "il migliore ed il peggiore servitore dell'umanità", utile nei campi, come anche nella costruzione delle case, in tempi di guerra più prezioso dell'oro ("il ferro è anche strumento di guerra, di strage, di brigantaggio, e non si usa solo nel corpo a corpo, ma anche sotto forma di proiettile volante lanciato dalle macchine e dalle braccia dell'uomo; è stato anche dotato di ali, la più detestabile invenzione delittuosa dello spirito umano, poiché, per far giungere più in fretta la morte all'uomo, si sono fornite le ali e fatto volare il ferro"); ve ne sono numerose varietà, che dipendono dalla natura del suolo e dal clima. Trattando poi dei minerali di rame, Plinio ne sottolinea l'utilità e quindi il valore, vicinissimo a quello dell'oro e dell'argento; poi ricorda il bronzo corinzio, una lega di rame-argento (bronzo bianco), oppure di rame-oro (bronzo fulvo), o di rame-argento-oro. Una quarta specie di lega, la cui composizione non è nota, è quella usata nelle statue degli dei e degli uomini; il suo pregio è il colore, simile a quello del fegato (επατίζον). Del piombo poi Plinio menziona due generi, il nero ed il bianco; il piombo nero è il nostro piombo, il bianco è lo stagno. La comune denominazione dei due metalli è dovuta alla loro somiglianza ed alle frequenti presenze dei rispettivi giacimenti negli stessi luoghi. "Lo stagno era assai prezioso, chiamato dai Greci κασσίτερος". Plinio parla anche della pietra di magnete, ossia la magnetite, e della sua affinità con il ferro: ne deriva un potere malefico che conferisce la capacità di attirare un altro ferro (*NH,* XXXVI, 127 "quel forte materiale che vince su qualsiasi cosa si precipita verso non so quale vuoto e, quando arriva più vicino al magnete, vi balza sopra, è preso e bloccato dal suo abbraccio"). Il magnetismo nell'antichità era inteso come la capacità di suscitare amore e moto, e ciò rappresenta un esempio della concezione animistica dei minerali, dotati di vita propria.

2 La scoperta del vetro

Ed arriviamo al vetro, fondamentale per il cannocchiale di Galileo! Il vetro già esiste in natura. Il più antico vetro naturale che sia noto è quello contenuto in certe meteoriti cadute sulla terra, le *tectiti*. Le tectiti sono divise in più famiglie o gruppi, e le dimensioni variano dalle microtectiti, che possono essere inferiori ad 1 mm, fino alle tectiti di Muong-Nong della Thailandia, che possono arrivare a pesare oltre 20 kg. Le tectiti più antiche del Nord America hanno 35 milioni di anni mentre le più giovani hanno età variabile dai 620 000 anni agli 800 000 anni, e si trovano in grande quantità in una vastissima area del sud-est asiatico e nell'Australia. Le tectiti sono composte di un vetro naturale di silice,

che si è originato in seguito ad impatto meteoritico per la fusione di rocce ad altissima temperatura e successivo rapido raffreddamento. Per questo ebbero il nome dalla parola greca τηκτός, che significa 'fuso'. Le prime di queste tectiti furono raccolte in Tasmania e descritte da C. Darwin.

Il vetro più comune è l'*ossidiana*, ben conosciuta dai Romani, come illustrato da Plinio il Vecchio, che si forma per rapido raffreddamento della lava durante i fenomeni vulcanici. Piccole sfere di vetro, del diametro di circa 1 mm e antiche fino a 3 miliardi di anni, sono abbondanti sulla superficie lunare. L'esistenza di queste sfere nella sabbia lunare, come vetri a forma di *manubrio* simili a quelli ritrovati nel cratere Lonar (India), suggerisce che questi materiali siano stati formati dall'influenza della tensione superficiale sul getto del vetro fuso, senza dubbio generato dall'impatto delle meteoriti. La *fulgurite* è un'altra pietra vetrosa, che si forma quando un fulmine colpisce la Terra generando elevate temperature. Il terriccio e la sabbia sulle quali cade il fulmine, fondendo, formano queste pietre tubolari dalla forma fantastica.

La storia tecnologica del vetro si distingue in due grandi fasi: quella precedente e quella posteriore all'invenzione della soffiatura nel I secolo a.C. La scoperta della soffiatura del vetro ha avuto una forte influenza sullo sviluppo culturale della società umana, contribuendo ad un profondo cambiamento nelle abitudini e nei costumi dell'uomo, con un impatto pari forse solo a quello della plastica, che, purtroppo, diventerà una sorta di fossile guida per gli archeologi del futuro, data la sua diffusione e indistruttibilità. Alla fine degli anni '70 del secolo scorso, durante uno scavo sotto il selciato di una strada nel quartiere ebraico della città vecchia a Gerusalemme (costruita da Erode nel 37−34 a.C.) è stata individuata una vasca contenente frammenti di vetro, assieme a monete e reperti ceramici, che hanno permesso di fissare alla metà del I sec. a.C. un termine *ante quem* per la tecnica della soffiatura.

Le scoperte fortuite sono fondamentali nella scienza, come sottolinea Stanley Kubrick nel film *2001 Odissea nello Spazio* nella splendida sequenza in cui un ominide trova un osso per terra e, compiendo per la prima volta il gesto di impugnarlo, colpisce l'avversario che cade morto a terra: casualmente è stato scoperto un oggetto che poteva essere trasformato in strumento e questo passaggio è caratteristico dell'*Homo sapiens*. Il vetro è forse proprio il risultato di una scoperta fortuita, come racconta da Plinio il Vecchio (*NH,* XXXVI, 190−191): "quella parte della Siria che si chiama Fenicia e che confina con la Giudea include nel monte Carmelo una palude che si chiama Candebia. Si crede che da là nasca il fiume Belo, che dopo aver percorso cinque miglia sfocia nel mare, nei pressi della colonia di Tolemaide […]; il suo letto è limoso e profondo e riversa nel mare le sue sabbie solo con la bassa marea. Queste brillano, finché non sono agitate dalle onde e ripulite così dalle impurità […]; proprio in un così piccolo litorale, non più largo di cinquecento passi, molti secoli fa ebbe origine il vetro. Si narra che una nave di mercanti di soda sia lì approdata; i mercanti, riversatisi sulla spiaggia, cominciarono a preparare le cibarie, ma, non essendovi una pietra adatta a sostenere il focolare, posero sotto i calderoni dei pani di soda ("nitrum") che avevano preso dal loro carico; ma quando li accesero, dopo che essi si furono impastati con la sabbia, un rivo di nuovo, trasparente liquido cominciò a fluire: questa fu l'origine del vetro". È curioso ricordare che in Egitto il vetro veniva indicato con il termine *iner en wedeh* oppure *aat wedeth* che significano entrambi *pietra del tipo che scorre.*

In verità testimonianze archeologiche della più antica lavorazione del vetro ci portano in Mesopotamia, a Eshnunna (l'odierna Tell Asmar), dove è stata trovata una barra di vetro blu risalente al tardo periodo sargonide (XXIII sec. a.C.). Due secoli più tardi, all'inizio della III dinastia di Ur (XXI sec. a.C.), si data invece il blocco in vetro blu trovato a Eridu. Sono queste le uniche testimonianze archeologiche che attestino la lavorazione del vetro nel III mill. a.C. Inizialmente il vetro era utilizzato per la realizzazione di monili o intarsi per imitare le pietre dure o semipreziose, più costose. Solo intorno alla metà del II mill. a.C. (fine XVI o XV sec. a.C.) cominciano ad essere prodotti in Mesopotamia i primi vasi in vetro, imitanti la coeva ceramica di Nuzi, realizzati con la tecnica di modellazione su nucleo preformato; essi potevano essere sia in vetro monocromo, decorato con filamenti colorati, sia in vetro a mosaico. È abbastanza credibile che la scoperta della tecnica della modellazione su nucleo sia una diretta conseguenza del processo di lavorazione della ceramica, nota dal V o inizi IV mill. a.C. in una vasta area compresa tra la valle dell'Indo e l'Egitto, ma forse anche in Europa. Probabilmente qualche artigiano, osservando la maggiore durezza dell'invetriatura rispetto allo strato interno di terracotta, asportò quest'ultimo ottenendo il prototipo di un vaso di vetro. Lo sviluppo in Egitto della produzione del vetro è attestato da piccoli vasi trovati nella tomba del faraone Tutmosi III, che, probabilmente ritornando dalle campagne militari (1467 e 1445 a.C. in Siria), condusse con sé vetrai siriani che dettero un impulso all'artigianato locale. Esempi sono il vaso (fig.1) ritrovato nella sua

1

2

Fig. 1 Vaso XIV sec. a.C., ritrovato nella tomba dì Tutmosi III (Egitto) [1].

Fig. 2 Vasellame egizio, formato dal nucleo, a forma di pesce. Circa 1352-1335 a.C. [1].

tomba o il contenitore di unguenti (fig. 2), a forma di pesce, nel Palazzo di el-Amarna (XIV sec. a.C.). Per la conoscenza della lavorazione del vetro in Mesopotamia possiamo fare riferimento ad antiche ricette contenute nelle tavolette (XIV–XII a.C.), rinvenute nella biblioteca del Palazzo di Ninive (668–627 a.C.); a una tavoletta, di provenienza sconosciuta (XIV–XII sec. a.C.), che illustra una ricetta per il vetro rosso; a un frammento proveniente da Babilonia (XII sec. a.C.) e ad una tavoletta proveniente dalla capitale ittita Hattusa, odierna Bogazköi (Turchia). Le tavolette menzionano due ingredienti: *immanakku* (agglomerati di quarzo che fornivano i silicati) e *ahussu* (ceneri di una pianta non identificata, detta *naga*, che forniva gli alcali). I due ingredienti venivano triturati e polverizzati prima di essere posti nel crogiolo in proporzioni variabili. Nelle produzioni ellenistiche e romane, l'ingrediente principale era la sabbia di qualità pura proveniente, come precisano Plinio e Tacito, dal fiume Belo, sulla costa fenicia. Per abbassare la temperatura di fusione si aggiungevano, e ancora si aggiungono, alcali di origine minerale (soda) o vegetale (soda e potassa). La soda veniva ricavata dai blocchi di nitro o *natron*, di cui l'Egitto e l'Asia Minore possedevano ricchi depositi naturali. Le ceneri per fondente sodico venivano da piante delle coste mediterranee come la salicornia, mentre le ceneri per fondente potassico provenivano da piante boschive come la felce e la quercia, cereali come grano, segale ed orzo, vegetazione di palude, canneti, erica. Venivano aggiunti inoltre carbonati di calcio, presenti nelle sabbie, e conchiglie polverizzate, per rendere il vetro insolubile in acqua. Plinio ricorda (*NH,* XXXVI, 192) anche l'aggiunta del magnete "perché si crede che attiri anche il liquido del vetro alla pari del ferro". Per colorare il vetro si aggiungevano ossidi di ferro, rame, manganese, cobalto. Gli ossidi di ferro erano già presenti nelle sabbie e conferivano una colorazione verdastra al vetro. L'aggettivo greco che significa "verde", infatti, proviene dal sostantivo che significa "vetro", proprio per i colori dei primi vetri. Per attenuare questa colorazione si aggiungeva ossido di manganese, *sapone dei vetrai*, determinando la formazione di un vetro incolore. I vetri mesopotamici contenevano antimonio, sostituito dal I d.C. dal manganese, costantemente utilizzato a partire dal III d.C. La colorazione del vetro blu, tipico della produzione egizia, veniva ottenuta con il cobalto o con il rame. L'aggiunta di rame determinava due tonalità dipendenti dall'atmosfera di trattamento termico: in atmosfera *ossidante, ossido rameico* (CuO) con colorazione blu; in atmosfera *riducente, ossido rameoso* (Cu_2O) con colorazione rosso-ceralacca. La precipitazione dell'ossido di rame viene favorita dalla presenza di piombo nei vetri rossi di manifattura egizia, ellenistici, romani e bizantini. Il piombo veniva anche unito al vetro bianco (*cammeo*) per renderlo più lavorabile. Il vetro cammeo ebbe uno sviluppo notevole nel periodo romano con la produzione di vasi o pannelli di

notevole bellezza, come ad esempio i due pannelli (Pompei I sec. d.C.) che rappresentano l'iniziazione di Arianna ai Misteri (fig. 3) e l'apparizione di Dioniso ad Arianna (fig. 4), e il vaso *Blu* del I sec. d.C. rinvenuto a Pompei (fig. 5).

3 La lavorazione del vetro

Il processo di fabbricazione del vetro viene descritto da Plinio e nella *Antologia Palatina*, raccolta di 3700 epigrammi greci ordinati per argomento in 15 libri, composti tra il III sec. a.C. e il VI d.C. Nelle tavolette di Ninive vengono nominati tre tipi di forni vetrari: *kūru, atūnu, tenūru*. Del forno *kūru* vengono indicati due tipi: il primo, destinato alla realizzazione della fritta (*zuku*), è fornito di quattro bocche; il secondo, destinato alla fusione e lavorazione del vetro, presenta una camera con una apertura che poteva essere chiusa con uno sportellino. Il forno *atūnu* veniva utilizzato se era necessario tenere il fuoco acceso per lungo tempo ed è associato all'uso di un particolare contenitore-matrice (per sigilli, coppe, monili). Del forno *tenūru* si sa poco. La struttura dei forni medioevali è visibile ad esempio nella miniatura (fig. 6) dal manoscritto *Sir John Mandeville's Travels, (*Londra, 1420 circa). Infine curiosa è la miniatura (fig. 7) dal manoscritto *Surname-i-Himayun* realizzata in occasione della circoncisione dei figli del Sultano Murad III (1582), dove è rappresentata anche una processione con bottiglie di vetro. I forni nell'antichità funzionavano a legna, ma la scarsità di boschi in Egitto e Mesopotamia può portare a ipotizzare anche il ricorso al letame. Veniva usata legna di pioppo, seccata accanto al forno, priva di nodosità, per ridurre il fumo, e di *tamerice*. Lo sviluppo del vetro, in particolare per la produzione di vetrate, ha avuto un impatto devastante sull'ambiente, cosicché già nel 1615 in Inghilterra fu proibito di usare legna per forni vetrari, per evitare una deforestazione incontrollata. All'inizio del XII secolo il monaco Teofilo scrisse *De diversis Artibus*, un libro ancor oggi fondamentale sulla tecnologia antica del vetro, così come *L'Arte Vetraria* del prete R. P. Antonio Neri del 1612 [3].

Una tecnica che i vetrai di Roma nel IV secolo d.C. sfruttarono appieno per una serie di medaglioni destinati ad essere collocati sul fondo delle ciotole fu quella di applicare una lamina di oro sulla superficie vitrea o di inserire tale lamina tra due strati, come la ciotola (fig. 8) del IV–III sec. a.C, ritrovata a Canosa in Puglia. Il prodotto fu abitualmente chiamato *vetro aureo.* Medaglioni con scene cristiane sono stati trovati soprattutto nelle catacombe al di fuori delle mura di Roma.

Una categoria di artisti del vetro, i *diatretari,* erano esenti da imposte fiscali su case e luoghi di lavoro come riconoscimento dell'alto valore dei loro vasi, ottenuti con un raffinato lavoro di incisione sul vetro (fig. 9, IV sec. d.C., "Bevi, possa vivere bene sempre"). I vasi *diatreta* erano costituiti da

3

4

5

6

7

8

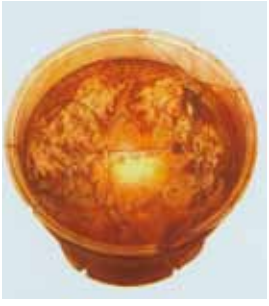


Fig. 3 Pannello, I d.C. Vetro cammeo, rappresentante il mito di Arianna, (a sinistra un Sileno) [2].

Fig. 4 Pannello, I d.C. Vetro cammeo, rappresentante il mito di Arianna, (a sinistra Dioniso) [2].

Fig. 5 Vaso Blu, I sec. d.C., rinvenuto a Pompei, particolare [2].

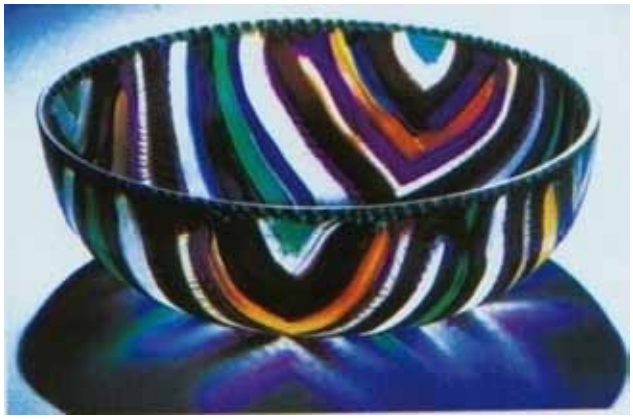
Fig. 6 Miniatura dal manoscritto *Sir John Mandeville's Travels,* Londra, 1420 circa [2].

Fig. 7 Miniatura dal manoscritto *Surname-i-Himayun* 1582 circa, Instambul, Topkapi Museum [2].

Fig. 8 Ciotola, vetro aureo, del IV–III sec. a.C, ritrovata a Canosa in Puglia. British Museum Londra [4].

9

10



11

Fig. 9 Coppa a gabbia, da Colonia-Braunsfeld IV sec. d.C. [2].

Fig. 10 Coppa, Roma, III d.C, con la Dea egizia Iside [2].

Fig. 11 Coppa a strisce colorate, Roma, I d.C. [5].

una doppia parete di cui quella esterna costituita da un reticolo a maglie circolari, ricavata dalla massa vitrea per mezzo della molatura a ruota.

Storie mitologiche e successivamente, dal IV d.C., scene legate al nascente mondo cristiano si ritrovano in varie opere in vetro, come due coppe simili del IV sec. d.C., una con Adamo ed Eva e l'altra con Apollo e Diana. Particolare la coppa (III d.C., fig. 10) con la dea egizia Iside, nella quale si nota un curioso strumento, il *nilometro*, per la misura dell'altezza delle acque del Nilo. Le coppe a strisce colorate (I d.C. Roma, fig. 11) e a mosaico sottolineano l'alto livello tecnologico ed artistico dei vetrai romani. Sotto il regno di Alessandro Severo (208–235 d.C.) l'arte del vetro a Roma raggiunse il suo apogeo ed era tanto diffusa che lo stesso imperatore pensò di mettere un tributo sul vetro a favore dei bagni pubblici! Sotto Aureliano (270 d.C.) la fabbricazione del vetro viene protetta dall'importazione del vetro egizio con una forte tassa. Il riciclo del vetro (non è un'idea moderna!) era presente nel I sec. d.C. come documentano Stazio (40–96 d.C) e Marziale (38–104 d.C.): durante le feste venivano acquistati vetri rotti, pagati con zolfo grezzo. Negli scritti di Petronio Arbitro (*Satyricon*, 51) del I sec. d.C. leggiamo questo particolare brano: "Egli (un vetraio), ammesso alla presenza di Cesare, mostrò la coppa all'imperatore, il quale esaltando l'opera lo ringraziò. L'artigiano allora prese all'improvviso la coppa di vetro dalle mani di Cesare e la gettò sul pavimento. L'imperatore vedendo così si stupì molto; ebbene (il vetraio) sollevò la coppa da terra e mostrò a Cesare che non si era rotta, ma che era tanto ammaccata quanto un vaso di bronzo. Quindi estrasse dalla borsa un martelletto e riparò la coppa molto tranquillamente. Dopo che aveva fatto questo, si immaginava di avere il mondo in pugno, soprattutto quando Cesare disse: forse pensi che un altro artigiano possa fare questo lavoro? Quando

l'inventore negò, Cesare ordinò che egli fosse decapitato, infatti pensava che questa lavorazione avrebbe fatto dell'oro sterco". Questo episodio ci ricorda come spesso importanti risultati della ricerca siano stati oscurati per evitare perdite di mercato. Nel 1936 la realizzazione di un vetro per parabrezza di auto, che evitava, al momento della rottura per un incidente, la formazione di piccoli frammenti pericolosi, fu tenuta nascosta per poter esaurire i parabrezza disponibili!

Una tavola berlinese, (fig. 12, *Coppia nuda in un interno*, anonimo fiammingo o tedesco, 1500 circa), dipinta su *recto* e *verso*, ci presenta una scena allegorica con due nudi in una stanza (nell'altra parte è dipinto un ritratto di uomo). Secondo la lettura iconografica di Angelica Dülberg (1990), la giovane donna tiene in mano uno specchio, allegoria della vanità, mentre la porta semiaperta sullo sfondo indicherebbe il passaggio dalla vita alla morte. L'insolito motivo del bicchiere in vetro, in primo piano, sarebbe una metafora, della fragilità della vita umana, concetto peraltro mitigato dal ramo di alloro, emblema di immortalità. Edwaert Collier (1643–1710) rappresenta nei suoi quadri il vetro come simbolo della fragilità, in questo caso della vanità dell'uomo. In un testo di fisica di Giovanni Crivelli, chierico regolare somasco (Venezia, 1744) viene trattata la fragilità del vetro nelle *lacrime filosofiche*, "gocce di vetro liquefatto nell'acqua fredda". La rappresentazione in dipinti di oggetti in vetro era presente nella scuola fiamminga (XV–XVI secolo), come ad esempio nel *Il misantropo* di Pieter Bruegel o nel quadro *Il trittico delle delizie* di Hieronymus Bosch.

4 Le vetrate

Ma la magia del vetro nasce con le vetrate [7]. La vetrata è un mosaico di pezzi di vetro di vari colori, rappresentante, generalmente nelle cattedrali, episodi del Vecchio e Nuovo Testamento, tenuto insieme da listelli di piombo, inserito in un telaio e poi fissato allo stipite della finestra.

A Roma il vetro in edilizia era impiegato per la decorazione degli interni delle case dei nobili e importanti edifici pubblici, come il Teatro Sauro e le Terme di Agrippina, citati da Plinio. Si deve però pensare non a lastre di vetro, ma a tessere musive di materiale vetroso utilizzate come rivestimento murale.

La produzione di grandi vetrate si ebbe nel XII sec. La tecnica della vetrata prevedeva il disegno su un cartone bianco od una tavola con l'indicazione dei vari colori e successivamente il taglio delle lastre, di differenti colori, secondo il disegno. I singoli pezzi di vetro venivano poi dipinti con una tinta monocroma, generalmente nero-bruno, a base di ossidi metallici, detta *grisaille*, per sottolineare i contorni ed i dettagli delle figure od oggetti. Successivamente i vetri venivano ricotti per fissare i colori ed inseriti in un reticolo di listelli di piombo. Nel '300 venne introdotto un nuovo metodo di colorazione: un sale minerale, il *giallo d'argento*, che dopo essere stato disteso sul vetro e sottoposto a cottura conferiva diverse tonalità di giallo o modificava i colori iniziali. Questa procedura rendeva possibile la coesistenza sullo stesso pezzo di vetro di due colori, con una riduzione dei listelli di piombo necessari. Molte vetrate sono state progettate dai pittori del tempo, come Paolo Uccello, il Ghirlandaio. Giotto, Taddeo ed Agnolo Gaddi, Duccio di Boninsegna.

Le vetrate hanno rappresentato una svolta architettonica di grande rilevanza, sostituendo nelle basiliche alla luce riflessa (affreschi) o riflessa-rifratta (mosaici), che proveniva dall'*interno* della chiesa, la luce trasmessa, interpretata come *la luce di Dio*. "Le finestre invetriate che sono nella chiesa, attraverso le quali si trasmette la chiara luce del sole e sono tenuti lontani i venti e le piogge, stanno a significare

12

Fig. 12 Coppia nuda in un interno, anonimo fiammingo o tedesco circa 1500 [6].

13

14

15

16

Fig. 13 Frammento di testa di Cristo del IX sec. [8].

Fig. 14 Cristo, St. Pierre Wissemburg-Basso Reno, 1060 [8].

Fig. 15 Il Diavolo tenta Cristo, Cattedrale di Troyes sulla Senna,1170.

Fig. 16 L'Ascensione di Cristo, Cattedrale di Mans (Loira), 1130–1140.

Fig. 17 La Natività, su cartone di Paolo Uccello, S. Maria del Fiore, Firenze, 1443.

Fig. 18 Tribù di Levi e Judah di Chagall, Sinagoga di Gerusalemme, 1962.

17

18

le Sacre Scritture che illuminandoci allontanano da noi il male" (Pierre de Roissy, cancelliere della Scuola della Cattedrale di Chartres, 1208–1213).

Esempi della magia del vetro sono la testa di Cristo (fig. 13), il più antico frammento noto risalente al IX sec. d.C. trovato a Lorsh, e un altro pezzo con lo stesso soggetto (fig. 14; St. Pierre Wissemburg, Basso Reno, 1060); il Diavolo che tenta Cristo (Cattedrale di Troyes sulla Senna,1170; fig. 15); l'Ascensione di Cristo (Cattedrale di Mans, Loira, 1130-1140; fig. 16); la Natività su cartone di Paolo Uccello (S. Maria del Fiore, Firenze, 1443; fig. 17) e le Tribù di Levi e Judah di Chagall (Sinagoga di Gerusalemme, 1962; fig. 18).

Episodi di iconoclastia colpirono nel '500 le vetrate, le cui immagini erano viste come pericolose occasioni di idolatria. Mentre gli editti di Edoardo VI (1537–1553) proibirono queste devastazioni, contemporaneamente quasi tutte le vetrate della Cattedrale di Durham vennero distrutte dal vescovo Hone di Winchester. Successivamente, al tempo dei Puritani intorno al 1643, furono distrutte le vetrate della cattedrale di Norwich.

5 Il vetro a Venezia

A Venezia, già nel 1268, gli artigiani del vetro erano ben organizzati in corporazione, tanto da partecipare, insieme a quelli di altre corporazioni, alla processione per i festeggiamenti del nuovo Doge Lorenzo Tiepolo, e fecero la loro apparizione recando in mano "bottiglie d'acqua, boccette da profumo e altri graziosi oggetti di vetro" (*Cronaca* di Martino da Canale). Tre anni più tardi venne approvato il capitolare degli artigiani del vetro, che dettava le norme di condotta per i membri della corporazione, ma riconosceva loro una posizione privilegiata, vietando sia l'importazione del vetro a Venezia, sia la lavorazione a opera di qualsiasi padrone di fornace straniero. Già nel 982 si parla, peraltro, di un Domenico *fiolario* (da *fiola,* bottiglia panciuta). I *cristaleri* producevano e vendevano oggetti in cristallo di vetro (bicchieri, vasi, croci, bottoni e lenti per occhiali), mentre i *margariteri* o *paternostreri,* rosari, collane e fiori in perle di vetro. A causa dei rischi di incendio nel 1292, il Gran Consiglio decretò il trasferimento di tutte le fabbriche del vetro veneziano a Murano, a circa un'ora di navigazione a remi dalla città. Il capitolare del 1271 aveva stabilito che l'esportazione dei prodotti avesse luogo ogni anno, solo dopo la chiusura delle fornaci in agosto, ma nel 1282 i documenti veneziani indicano che i prodotti di vetro erano esportati da mercanti tedeschi. Le vetrerie veneziane per la lavorazione del vetro *crown* utilizzavano grandi quantitativi di barilla, pianta marina nota come salicornia, ricca di carbonato di soda, che si reperiva in alcune paludi d'acqua salmastra, aggiungendo inoltre piccole quantità di calce. Peraltro le autorità veneziane presero seri provvedimenti per impedire l'uso di materie prime poco pregiate come, ad esempio, l'allume di Alessandria. Vi sono prove scritte irrefutabili dell'attività di decoratori di bicchieri, *tintor de mojolis*, nel periodo 1280–1348. Due decoratori sono Zannus Totolus, "qui pingit mojollos", e Petrus, *pictor*. Famoso il bicchiere del XIV sec. che reca l'iscrizione in smalto bianco "MAGISTER ALDREVANDIN ME FECIT" (mi fece il maestro Aldrevandino). Non solo Aldrevandino è un nome veneziano, ma vi sono prove dell'esistenza di un certo Aldrovandino fiolario nel 1331 a Murano.

Il *vetro cristallo* veneziano (Georg Agricola, *De Re Metallica*) è un vetro sodico ottenuto con varie tecniche impiegate durante la fusione, come la depurazione della cenere fondente e della silice e la decolorazione con il manganese. I Veneziani, per ottenere una silice più pura, utilizzavano i ciottoli del Ticino (*quocoli*). Creato da Angelo Barovier, il *vetro cristallo* si prestava a complesse lavorazioni, come l'incisione a punta di diamante, ma non era adatto all'intaglio e alla molatura. Nella fig. 19 viene riportata l'opera più famosa del Barovier del '500, *La coppa di nozze*. Un'altra invenzione importante, riconducibile a Barovier, è il bel vetro variegato, ad imitazione dell'agata, chiamato *chalzedonia*, che secondo ricette riportate nei Trattatelli Toscani del XV sec. "a far calcedonio che si chiama coda di pavon o a far calcedonio che sia come ovo di pavon" si otteneva mescolando vari componenti, principalmente ossidi metallici (ferro, rame), solfuro di mercurio, piombo calcinato, argento fino, carbonato basico di rame e vetro *cristallino*. Particolari i vetri murrini realizzati dai maestri vetrai nel XVI sec. ad imitazione dei murrini romani. La murrina consiste in una specie di mosaico o di intarsio composto da pezzetti di vetro, spesso modellati in una forma precisa, fusi in modo che i singoli frammenti si saldino fra loro. Il vetro murrino risale all'epoca romana (I d.C.) e fu inventato per imitare i vasi di *murrha*, di qui il nome, misteriosa sostanza orientale *odorosa*, portati da Pompeo nel 61 a.C. e posti nel Tempio di Giove Capitolino. La *murrha*, che si credeva fosse una specie di maiolica, era una varietà di fluorite che emanava un aroma particolare dovuto alle resine utilizzate come leganti.

Per superare le difficoltà del vetro veneziano inadatto alla lavorazione con la mola, le vetrerie boeme nel XVI sec. svilupparono un vetro più resistente, contenente un composto di potassa proveniente dalla vegetazione locale, solfato di calcio (gesso), silice e inoltre il manganese come decolorante. I vetrai veneziani per poter competere si ingegnarono nella produzione di oggetti particolarmente elaborati come il *vetro a ghiaccio*, ottenuto tramite raffreddamento veloce del vetro in acqua ghiacciata, o i bicchieri fantasia

Fig. 19 Barovier, 1500, La coppa di nozze. Museo vetrario Murano [4].

Fig. 20 Vetro rosso rubino, Kunckel, Germania 1689, Museo delle Arti Decorative, Praga [3].

Fig. 21 Coppa di Licurgo IV sec. d.C. British Museum [2].

Fig. 22 Ceramica a lustro, Gubbio 1528.

Civetta e Pulcinella. Venezia subì un duro colpo nel mercato del vetro, quando in Inghilterra fu inventato da George Ravenscroft (1674–1676) uno straordinario *vetro al piombo* (vetro cristallino rassomigliante al cristallo di rocca), che evitava la devetrificazione, con un grande potere di rifrazione della luce. Nel 1689, Kunckel, alchimista e chimico di talento di una famosa famiglia di artigiani, produsse un vetro rosso rubino per mezzo di un precipitato di oro, il cloruro d'oro (fig. 20). La colorazione rossa è legata alla formazione di particelle d'oro ed era già stata realizzata dai Romani nel IV sec. d.C. nel famoso vaso di Licurgo, nel quale oltre all'oro è presente l'argento. Questo vaso (fig. 21) presenta inusuali proprietà ottiche, con diversa colorazione: verde, se osservato in riflessione; rosso, se osservato in trasmissione, per effetto della presenza di nanoparticelle di oro e di argento (cioè particelle della dimensione di 70 nanometri, un nanometro corrisponde ad un miliardesimo di metro). La composizione è quella usuale del vetro romano, soda-calce-silicio, con inoltre uno 0,5% di componenti minori: 40 parti per milione di oro e 300 parti per milione di argento. Un primo esempio di nanotecnologie!

Lo sfruttamento degli effetti della luce, in riflessione o in trasmissione, ha costituito un elemento tecnologicamente importante nella produzione e decorazione del vetro, messo a punto da Emile Gallé (1846–1904), vetraio, ebanista e ceramista di Nancy, uno dei massimi esponenti dell'*Art Nouveau*. Gallé utilizzò strati di vetro sovrapposti, creando diverse figure: con luce riflessa la superficie incisa ed intessuta mostra uno schermo di foglie; con luce trasmessa i misteriosi fantasmi di queste foglie si svelano insieme a frammenti di alberi.

La presenza di nanoparticelle ha creato meravigliosi colori in molte vetrate. Un altro formidabile esempio, dopo il vaso di Licurgo, di nanotecnologia *ante-litteram* si può trovare nelle decorazioni *a lustro* delle ceramiche medioevali e rinascimentali.
Il *lustro* consiste in uno strato di vetro, contenente nanoparticelle di argento o di rame, depositato su una ceramica artistica. Lo strato nanocomposito eterogeneo metallo-vetro fornisce al sottostante piatto o vaso ceramico dei particolari riflessi ottici, legati alle proprietà ottiche delle nanoparticelle.
Gli aspetti *nanotecnologici* sono stati evidenziati da uno studio [10] delle Università di Perugia (Dipartimento di Chimica) e di Padova (Dipartimento di Fisica) sul *Piatto con la storia di Pico, Circe e Canente* (fig. 22), maiolica a lustro prodotta nella bottega di Mastro Giorgio (Gubbio, 1528).

È interessante sottolineare che tale tecnologia è nata nella Mesopotamia nel IX sec. d.C., si è diffusa in Egitto e quindi in Spagna, a seguito delle invasioni islamiche, giungendo infine in Italia nel '500 e dando vita alla produzione delle maioliche policrome di Gubbio e Deruta. Una ricetta di preparazione del lustro di Mastro Giorgio indica la deposizione inizialmente di ossidi o sali di argento o di rame in soluzione con aceto sopra lo strato di vetro, con un successivo riscaldamento a 600 °C in forno con fascine di ginestra secca (*atmosfera riducente*). Il processo comporta uno *scambio ionico* tra il sodio del vetro con il metallo, rame od argento, e la successiva precipitazione del metallo e formazione di nanoparticelle all'interno del vetro. In 700 anni la tecnica si è diffusa dalla Mesopotamia all'Italia.

6 Vetro ed ottica

Il vetro è un materiale ampiamente utilizzato nell'ottica. Esso può essere progettato nella forma per fornire una vasta gamma di proprietà ottiche. Viceversa l'ottica fornisce la motivazione per lo sviluppo di varie composizioni del vetro e tecniche per la sua fusione e modellazione. La teoria del *big bang* pone l'ottica (*la luce*) all'origine della storia dell'universo, mentre la Genesi lega la luce alla creazione stessa della terra ("'*fiat lux*' *et lux fuit*"). Molti fenomeni, come la visione, l'arcobaleno, l'effetto serra, l'aurora boreale, il rosso tramonto del sole dipendono dai principi dell'ottica. Nei tempi passati l'interesse per i cieli era notevole, probabilmente più astrologico che astronomico. I Greci si basavano più sull'immaginazione che sull'osservazione; tuttavia Talete, nel 600 a.C., è stato il primo a studiare le cause delle eclissi, misurando il diametro apparente del Sole e della Luna e predicendo un'eclisse solare durante una battaglia. A cominciare da Pitagora (VI-V sec. a.C.), fino a Platone, Aristotele ed Euclide (III sec. a.C.), i filosofi greci diedero contributi alla geometria e alla astronomia, con una consapevolezza dei primi principi dell'ottica, tra i quali i percorsi rettilinei dei raggi luminosi e le leggi della riflessione, e osservarono l'uguaglianza dell'angolo di incidenza e quello di riflessione per incidenza dall'aria all'acqua o dall'aria a una superficie riflettente di rame levigato. Cristalli di quarzo di alta qualità, venivano utilizzati come materiali per l'ottica (ritrovamento di lenti di quarzo in scavi archeologici), poiché i primi vetri di silice con soda erano opachi per la presenza di bolle dal vetro fuso. Nel 50 a.C. Seneca suggerisce un miglioramento per focalizzare un fascio luminoso, utilizzando un guscio di vetro scavato e riempito con acqua, più trasparente dei vetri disponibili. Dato il basso indice di rifrazione dell'acqua rispetto a quello del vetro, il volume d'acqua riduceva il valore medio stesso dell'indice di rifrazione, aumentando la lunghezza focale e la distanza disponibile tra il vetro e lo stoppaccio. Strabone (I sec. a.C. – I sec. d.C.) aveva compreso il fenomeno della rifrazione della luce. "L'impressione visiva di grandezza (del sole) aumenta ugualmente al tramonto e al sorgere sui mari per il fatto che vengono portate in alto maggiori vapori dalla superficie di acqua. I raggi visivi, passando attraverso questi, come attraverso dei vetri, vengono spezzati (rifratti) e l'occhio riceve le immagini più larghe, come anche guardando il tramontare o il sorgere del sole o della luna attraverso una nuvola secca e sottile, quando l'astro appare anche rosso" (*Geografia*, 3, 1, 5). Tolomeo, nel II secolo d.C., misurò l'angolo di rifrazione nel passaggio dall'aria all'acqua, in perfetto accordo con la successiva legge di Snell (Snell Van Royen da Leida, fine '500). Erone di Alessandria, del I secolo a.C., formulò le leggi della riflessione, ipotizzando che la luce segua il minimo percorso. Roger Bacon, nella seconda metà del '200, sottolineò che pezzi di vetro curvati potevano ingrandire parole scritte.

6.1 Gli occhiali

L'invenzione degli occhiali è databile alla fine del '200 a Venezia. Ci aiuta lo Statuto dei *Cristalleri,* che contiene vari *Capitoli* registrati in appositi *Capitolari*. I *Cristalleri* erano abili artigiani-orafi che lavoravano il *quarzo* (definito *Cristallo di Rocca*), a volte per motivi di costo sostituito dal *vetro,* per la sua trasparenza. Veniva utilizzato anche il *berillo* (allumino-silicato di berillio). Le prime lenti infatti furono denominate *Berilli* (in cristallo di rocca o berillo). In Germania è rimasto il nome *Brillen*, mentre in Francia le prime lenti furono chiamate *béricles*, e gli occhiali *bésicles*. In dialetto piemontese gli occhiali sono chiamati *baricole*. Nicolò Cusano (1401–1464) intitolò *Berillo* uno dei suoi scritti. La contraffazione del vetro, venduto per cristallo (*quarzo*), venne proibita ai *Cristalleri* nel Capitolo XL del 2 aprile 1300. In esso vengono elencati una serie di oggetti, tra i quali "roidi de botacelis et da ogli e lapides ad legendum" ("rotoli per occhi e pietre per leggere"). Nei *Capitolari* del 1319 si rinnova l'obbligo di giuramento a chi intenda "far rodoli de vero per ogli per lezer e ordina de lavorar lialmente e de vender vero per vero e christallo per christallo". La fabbricazione di "vitreos ab oculis ad legendum" ("vetri per gli occhi per lettura") viene liberalizzata nel giugno 1301, come riportato nel *Capitolo* XLIII. Nel marzo 1317 viene registrata a Venezia una concessione a persona estranea all'arte di produrre "oglarios de vitro" e venderli in città. Frate Giordano de Rivalto (Rialto) durante una predica in Santa Maria Novella a Firenze, nel febbraio del 1305, afferma: "Non sono più di vent'anni da quando si è trovata l'arte di fare gli occhiali". Nell'elogio funebre del monaco domenicano Alessandro Spina, morto nel 1313, si ricorda che esso aveva visto gli occhiali poco dopo l'invenzione e li aveva copiati. Si dice che i Fiorentini abbiano creato documenti falsi per

attribuire la scoperta degli occhiali ad un loro concittadino sulla cui tomba (mai ritrovata) sarebbe stata incisa la seguente frase: "Qui giace Salvino Armato degli Armati, inventor degli occhiali, Dio gli perdoni la peccata" (1317). Infine, per aprire una "finestra" sul mercato degli occhiali, è interessante ricordare che il 21 ottobre 1462 Francesco Sforza, Duca di Milano, richiese all'Ambasciatore a Firenze "tre docene di dicti occhiali", divise in tre tipologie di difetto visivo *da zovene* (miopia), *da vechy* (presbiopia), *comuni* (ipermetropia). La richiesta viene esaurita in 14 giorni, compreso anche il viaggio di andata ritorno da Milano a Firenze, e Francesco e Bianca Maria Sforza ringraziano. Si lavorano le lenti con criteri differenziati e non più solo convesse, per ingrandire. In Oriente si utilizzavano quarzi particolari per lenti, come *pietra da the*, che faceva assumere un colore fumè per proteggersi dalla luce solare e dalla luce che emanava l'Imperatore. Infatti per essere ricevuti dall'Imperatore bisognava essere in possesso di un occhiale! La prima rappresentazione dell'uso degli occhiali, da parte del Cardinale Ugo di Provenza, dell'occhialino da parte del Cardinale Nicolò di Rouen e di una lente dal Cardinale Ugo di Billon è nell'affresco (1348–1352) di Tommaso da Modena nel Convento di S. Nicolò Capitolo dei Domenicani, a Treviso. In un affresco nella Chiesa di Santa Maria e San Siro a Sale (Al), del 1456, viene rappresentato il Profeta Abacus con occhiali a montatura a perno.

Nell'ottobre del 1608 l'invenzione del telescopio venne annunciata da Lippershey e Galileo, in breve tempo, ebbe il suo primo telescopio! Galileo ne dimostrò l'uso, sul Campanile di S. Marco, il 21 agosto 1609, e lo offrì al Doge. Galileo acquistò lenti a Murano fino al 1620. Con l'invenzione del cannocchiale e il suo uso come strumento per l'osservazione astronomica, avviato da Galileo alla fine del 1609, le lenti cominciano a essere studiate scientificamente. Di qui la classificazione scientifica degli occhiali. Decą de Valdes, notaio del Santo Uffizio a Siviglia in Spagna, pubblicò nel 1623 un libro sugli occhiali: "Uso de los antojos para todo genere de vistas", nel quale classificò la forza delle lenti rispetto ai gradi relativi alla curvatura concava e convessa. I diversi gradi corrispondevano al diametro delle sfere dalle quali le lenti venivano ricavate, con una numerazione corrispondente a quella odierna di diottrie.

Nel 1723–1730 Edward Scarlett perfezionò gli occhiali da tempia, occhiali dotati di stanghette rigide che terminano con ampi anelli che premono sulle tempie. In questo periodo a Venezia e alla corte francese compare la moda dell'occhialino, vero capolavoro dell'oreficeria, in oro, decorato con pietre preziose; a Venezia gli occhialini divennero più importanti dell'abbigliamento e venivano portati anche da chi non ne aveva necessità. L'occhialino, appeso ad una catena o ad un nastro, viene indicato con il termine francese *lorgnon,* da cui deriva *lorgnette*. Nel '700 Casanova racconta che la sua famosa Monaca da Murano aveva tre occhialini, i cui manici trasmettevano muti ma eloquenti messaggi: il manico d'oro "Ti voglio bene"; il manico d'argento "Mi sei indifferente"; il manico di tartaruga "Attento, siamo sorvegliati". Il problema delle imperfezioni nelle lenti e nella colorazione a causa di impurità fu superato nell'ultimo ventennio del XVIII sec. da Pierre Louis Guinard, che scoperse che rimestando il vetro fuso se ne migliora l'omogeneità. E per venire al Veneto, un venditore ambulante di chincaglierie, Angelo Frescura, ideò e finanziò la prima fabbrica di occhiali in Cadore, importando le lenti dalla Francia.

Una interessante illustrazione sul vetro-specchio, tratta dal Bestiario nel manoscritto Bodley 764 della Bodleian Library di Oxford (XIII sec.), viene riportata in fig. 23, "Quando un cacciatore rapisce i cuccioli di una tigre, per non essere raggiunto lascia cadere dietro di sé, una dopo l'altra, sfere di vetro. In queste si riflette, come in uno specchio, l'immagine della tigre, che ogni volta convinta di aver ritrovato il figlio, interrompe l'inseguimento".

7 Le nanotecnologie ed il vetro

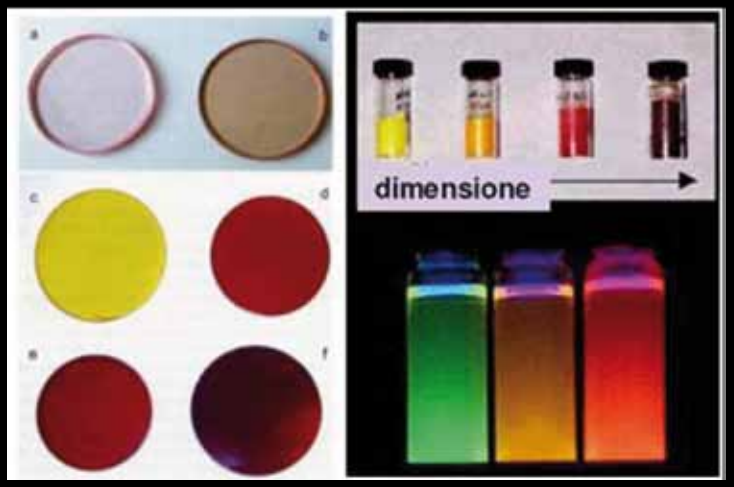
Concludiamo questa breve rassegna di importanti, storici e leggendari aspetti del vetro con le nanotecnologie, già utilizzate inconsciamente dai Romani nel vaso di Licurgo! Il termine nanotecnologia non rimanda solo ad un nuovo tipo di tecnologia, come nel passato ad esempio la microelettronica, ma è un reale cambio di sistema concettuale per avvicinarsi e superare i limiti della fisica classica ed entrare nel mondo della meccanica quantistica, allorché le dimensioni degli oggetti studiati divengono paragonabili a quelle atomiche. Particelle di dimensioni nanometriche, metalliche o semiconduttore o ossidi, con diverse proprietà elettriche, introdotte in matrici di vetro, cambiano le proprietà ottiche, con interessanti ricadute nella fotonica, ottica non lineare, sensoristica [12]. I vetri colloidali ne sono un esempio. La colorazione è controllata dalla natura chimico-fisica delle particelle, disperse nel vetro, come oro, rame ed argento (colorazione rubino dovuta all'oro o al rame, giallo all'argento), o aggregati di solfuro e seleniuro di cadmio e loro miscele (colore rosso rubino al solfoseleniuro di cadmio e giallo al solfuro di cadmio), arseniato di piombo e fosfati alcalino-terrosi (vetro girasole e rosa al selenio). In fig. 24 sono riportati alcuni esempi di vetri colorati: (a) rosa chiaro al selenio, (b) rosa al selenio, (c) giallo al solfuro di cadmio, (d) rosso al solfoseleniuro di cadmio, (e) rubino all'oro, (f) rubino al rame. In ciascun caso, per ottenere il colore ottimale, si deve individuare la matrice vetrosa più idonea per sviluppare particelle con le dimensioni

o distribuzione dimensionale in funzione del colore desiderato. Una delle proprietà più interessanti dei compositi a matrice vetrosa contenenti nanoparticelle di semiconduttore è la possibilità di fabbricare dei dispositivi emettitori di luce accordabili: infatti, a causa del confinamento quantico, la lunghezza d'onda di luminescenza può essere spostata per esempio all'interno dello spettro visibile attraverso il controllo delle dimensioni dei nanoaggregati. Questa dipendenza dalla taglia della luminescenza è legata all'allargamento della gap energetica al diminuire delle dimensioni della nanoparticella (*quantum dot,* QD) al di sotto di un valore *critico*, indicato come *raggio eccitonico di Bohr*. Ad esempio, nel caso del seleniuro di cadmio variando le dimensioni delle nanoparticelle è possibile spostare con continuità la luminescenza dal rosso (1,8 eV per nanoparticella con diametro medio di 11 nm) all'ultravioletto (3,8 eV, per nanoparticella di 1,2 nm) come mostrato nella seconda parte della fig. 24. Questo effetto ha permesso applicazioni nel campo della dispositivistica ottica (LED, schermi piatti, laser) o nella diagnostica e terapia medica (cessione di farmaci). L'interazione della luce con il gas di elettroni liberi in nanoparticelle metalliche determina, ad una specifica lunghezza d'onda, oscillazioni risonanti (risonanza plasmonica superficiale, SPR), che produce un incremento localmente consistente del campo elettrico dell'onda elettromagnetica [14]. Recentemente un gruppo di ricerca della Queensland University of Technology (Australia) ha suggerito che le vetrate nelle chiese, con pittura ad oro, certamente contenenti nanoparticelle di diverse dimensioni, purifichino l'aria quando vengono illuminate dalla luce solare. L'aumento del campo elettrico dovuto alla SPR crea una rottura delle molecole di polluzione in aria, con un bioprodotto di piccole quantità di biossido di carbonio. La luce da Dio purifica l'aria! La proposta è "affascinante", ma, a mio avviso, inconsistente. Interessante lo studio realizzato da un gruppo di ricercatori cinesi che evidenzia le proprietà ottiche di nanoparticelle di oro [15]. È stato sintetizzato uno strato di vetro contenente ossido di oro. Tramite un fascio laser pulsato si è realizzata la separazione degli atomi di oro dall'ossigeno, disegnando una farfalla, non visibile dopo l'irraggiamento con il fascio laser. Un successivo riscaldamento ha indotto l'aggregazione degli atomi d'oro nelle zone irraggiate con l'evidenziazione della farfalla (fig. 25), dovuta alle proprietà ottiche di assorbimento delle nanoparticelle, SPR.

Per completare questa presentazione, è interessante notare, in una miniatura indiana del XVI secolo d.C.

23

24



25

Fig. 23 Illustrazione sul vetro-specchio tratta dal Bestiario nel manoscritto Bodley 764 della Bodleian Library di Oxford (XIII secolo) [11].

Fig. 24 Vetri colloidali (a sinistra) e soluzioni (a destra) contenenti nano particelle di seleniuro di cadmio con varie dimensioni [13].

Fig. 25 Immagine creata utilizzando nanoparticelle di oro in vetro [15].

26

27

Fig. 26 Miniatura indiana del XVI secolo d.C. rappresentante Alessandro Magno in immersione!

Fig. 27 Civetta, simbolo della Facoltà di Scienze, Università di Padova, disegno di Carlo Scarpa 1943, Venezia, realizzazione di Venini. Università degli Studi di Padova.

(fig. 26), la rappresentazione del re macedone Alessandro Magno che si fa calare in mare, protetto da una campana in vetro, per conoscere da vicino le meraviglie del mondo marino. Infine devo ricordare la Civetta e la Sfera, in cristallo e foglia d'oro con la superficie iridata, simbolo della Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali dell'Università di Padova (fig. 27), opera disegnata nel 1943 dall'Architetto Carlo Scarpa e realizzata dalle soffierie d'arte Venini di Murano.

Un ringraziamento particolare a mia figlia Sabina, per il contributo nella parte storica e revisione del testo.

Bibliografia

[1] *"Cinquemila anni di vetro"* (Silvana Editoriale) 1991.
[2] "*Vetri dei Cesari"*, introduzione di D. B. Harden, catalogo della mostra, Musei Capitolini, Roma (Mondadori) 1988.
[3] A. Neri, *"L'Arte Vetraria 1612",* a cura di R. Barovier Mentasti (Edizioni Polifilo, Milano) 1980.
[4] D. Klein, W. Lloyd, *"Storia del Vetro"* (Istituto Geografico De Agostini) 1984.
[5] Corning Museum of Glass, New York (USA).
[6] *"Rinascimento a Venezia"*, a cura di Bernard Aikema e Beverly Louise Brown (Bompiani, 1999).
[7] E. Castelnuovo, *"Vetrate medievali"* (Einaudi) 1994.
[8] Hessisches Landesmuseum, Darmstadt (Germany).
[9] Museo Notre Dame, Strasburgo (Francia).
[10] S. Padovani, C. Sada, P. Mazzoldi, Brunetti *et al.*, *J. of Appl. Phys.,* 93, no. 12 (2003)10058; *App. Phys. Mat. Sci. Process*., 79, no. 2 (2004) 229; *A* 83, no. 4 (2006) 521.
[11] "*Bestiari medioevali"*, a cura di L. Morini, (Einaudi, Torino) 1996.
[12] P. Mazzoldi, G. Mattei, Articoli di review in: "*Rivista Nuovo Cimento*", 28, no. 7 (2005) 1; *"Metal nanoclusters in catalysis and materials science: the issue of size-control"*, a cura di B. Corain, G. Schmid, N. Toshima (Elsevier, Amsterdam) 2007, pp.269-292; "*Highlights on Spectroscopies of semiconductors and nanostructures, Pavia 2007*", a cura di G. Guizzetti, L. C. Andreani, F. Marabelli, M. Patrini, *Conf. Proc.,* Vol. 94 (SIF, Bologna) 2007, p. 349; G. Mattei, P. Mazzoldi, H. Bernas, *"Material Science with Ion beams Topics*", a cura di H. Bernas, *App. Phys.,* Vol. 116 (Springer -Verlag, Heidelberg) 2010.
[13] P. Mazzoldi e G. Mattei, *"Introduzione alle Nanotecnologie ed ai Nanosistemi"*, Assoautomazione, Fiera Milano Tech., 2004.
[14] G. Pellegrini, G. Mattei, P. Mazzoldi, *"Optics Express",* 15 (2007), 10097; *Mater. Sci. Engin. C*, 27, no. 5-8 (2007) 1347; *Nanotechnology,* 20, no. 6 (2009) Article Number: 065201; *ACS Nano,* 3, no. 9 (2009) 2715.
[15] J. Qiu *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 43 (2004) 2230.

Paolo Mazzoldi

Ordinario di Fisica dal 1975 presso la Facoltà di Ingegneria, Università di Padova. Componente di commissioni internazionali scientifiche e di valutazione di progetti di ricerca. Ha ricevuto premi nazionali ed internazionali. Ha soggiornato per attività di ricerca presso laboratori europei, Stati Uniti, Cina ed India. Ha partecipato alla realizzazione del Laboratorio di Impianto ionico a Trento, Laboratorio Materiali a Brindisi e Laboratorio NanoFab a Marghera (Ve). La sua attività, preminentemente sperimentale, documentata da più di 430 lavori su riviste internazionali e libri specialistici, si è sviluppata inizialmente sulle proprietà quantistiche dell'elio liquido II. Negli anni '70 ha introdotto e sviluppato in Italia l'utilizzazione di tecniche nucleari per analisi dei materiali ed impianto ionico, con applicazioni nel channeling, nella sintesi e caratterizzazione di materiali e formazione di nanoparticelle. Altri settori di ricerca: trattamenti con impulsi laser, fisica del vetro, applicazioni di nano strutture nell'ottica nonlineare e magnetismo, beni culturali, nanotecnologie.

CLAUSIUS CLAPEYRON AND THE REGULATION OF GLOBAL WARMING

WILLIAM KININMONTH
Australasian Climate Research, Melbourne, Australia

Satellite-based observations suggest that the response of global evaporation to Earth's warming is near the Clausius-Clapeyron relationship. However computer models that are the basis for predictions of dangerous anthropogenic global warming have an evaporation response that is only about one-third the Clausius-Clapeyron relationship. The computer model predictions of anthropogenic global warming are likely exaggerated.

1 Introduction

In large part it is precipitation that regulates life on Earth. Soil moisture is essential to sustain plant growth and biodiversity flourishes where water is abundant. Precipitation also has a bearing on local climate. It has long been recognised that the availability of surface water regulates evaporation and local temperature. Where there is abundant surface water and plant growth the local evaporation constrains temperature and in hot climates temperatures are very much higher in the absence of surface evaporation [1].

The hydrological cycle, including the evaporation of surface water and condensation of atmospheric water vapour to form clouds and precipitation, is an essential component of energy flow through the climate system. The Clausius-Clapeyron relationship is the rate of increase of saturated vapour pressure with temperature and is important in regulating many of the processes of the hydrological cycle. For example, as the temperature of the atmosphere increases its water holding capacity also increases according to the Clausius-Clapeyron relationship.

If we are to understand anthropogenic global warming and the potential threat of dangerous climate change, then it is essential to have a detailed knowledge of the processes of energy flow through the climate system. Much attention has been given to the exchange of energy by radiation processes, including absorption of solar energy at the Earth's surface and the transfer of infrared radiation from the surface through the atmosphere to space. While a necessary consideration, these radiation processes are not sufficient to fully explain the greenhouse effect and its enhancement by changing concentrations of atmospheric carbon dioxide (CO_2). Indeed, non-radiative exchange of energy between the surface and atmosphere associated with the hydrological cycle are also a crucial consideration.

The greenhouse gases (mainly water vapour and CO_2) and clouds of the atmosphere emit more infrared-radiation energy, both back to the surface and to space, than that absorbed from the surface emission [2]. The ongoing loss of infrared radiation tends to cool the atmosphere. Very little solar radiation is absorbed as it passes through the atmosphere and, because of the Earth's geometry, most solar energy is absorbed at the tropical surface. Overall, radiation processes tend to warm the tropical surface and cool the global atmosphere.

The global energy balance is achieved by exchange of heat and latent energy from the surface to the atmospheric boundary layer and the vertical distribution of this non-radiative energy through the troposphere by buoyant convective overturning [3]. Energy is also transported from the tropics to polar regions by the atmospheric circulation [4]. Evaporation and convection are components of the global energy balance. The latent energy taken from the surface

during evaporation is released to the atmosphere by condensation and precipitation during convection. This released energy is available to offset the infrared radiation losses, or radiative cooling, of the atmosphere. Globally, the non-radiative energy exchange between the surface and the atmosphere is in steady state with the net radiative cooling of the troposphere.

The greenhouse effect arises because of thermodynamic requirements for buoyant convection. Most deep convection takes place in the tropics. Here the reduction in temperature with altitude (or temperature lapse rate) must exceed the saturated adiabatic lapse rate (approximately −6.5 °C/km near the surface and increasing to near −10 °C/km in the high troposphere). That is, for vertical distribution of energy by buoyant convection the surface temperature must be warmer than that of the middle and upper troposphere. The surface temperature is a function of both the effective blackbody temperature of the Earth (globally averaged, approximately −19 °C) and the average altitude in the atmosphere from which infrared radiation to space emanates (a little more than 5 km). The altitude of emission and the critical temperature lapse rate ensure that, on average, the surface temperature is about 33 °C warmer than the effective blackbody emission temperature, or about 14 °C. This is the greenhouse effect.

Anthropogenic global warming is an enhancement of the greenhouse effect as the concentration of CO_2 in the atmosphere is increased by burning fossil fuels.

An increase in concentration of CO_2 in the atmosphere affects the flow of infrared radiation in two ways. Firstly, as is commonly understood, the radiation to space is reduced; secondly, the downward infrared radiation at the surface is increased. The magnitude of the increased downward radiation at the surface is only marginally different from the reduction in upward radiation at the tropopause and hence the overall radiation cooling of the troposphere is little changed. Although the concentration of CO_2 changes this does not directly warm the troposphere.

The principal effect of the increased CO_2 concentration is through the increased downward infrared radiation and its influence on the surface energy budget (see box 1). The enhanced downward infrared radiation increases the input energy to the surface and the surface temperature rises. As the temperature rises the surface loses additional energy in three ways: i) through increased infrared emission, ii) through direct heat exchange, and iii) through evaporation of latent energy. Each of these energy loss processes is enhanced, directly or indirectly, as the surface temperature increases.

The surface energy processes are critical for regulating the enhanced greenhouse effect and are well understood. The critical factor defining the eventual steady-state surface temperature is how surface energy loss is partitioned between the three loss processes. For example, it is well understood that the surface temperature of freely evaporating water bodies and transpiring vegetation over land surfaces is considerably lower than that of dry arid land surfaces. A detailed formulation and evaluation of surface temperature sensitivity to increasing concentrations of CO_2, under differing conditions of evaporation response, is given elsewhere by the author [5]. Table 1, taken from that study, gives indicative results that underscore the importance of evaporation in determining the new steady-state temperature.

	Rate of increase of evaporation	Surface temperature response
Rate of increase of evaporation (and latent heat exchange) with surface temperature	6% $°C^{-1}$ (satellites)	0.9 °C
	2% $°C^{-1}$ (Average GCM)	2.2 °C
	1% $°C^{-1}$ (Low-end GCM)	3.4 °C

Tab. I Indicative values of expected steady-state surface temperature response to double carbon dioxide forcing depending on the rate-of-surface evaporation change with temperature. The higher value of rate-of-evaporation increase is a little less than the Clausius-Clapeyron relationship and is based on satellite estimates of global precipitation; the lower values represent those found in computer models of the climate system (GCMs) used in the IPCC Fourth Assessment (taken from Kininmonth [5]).

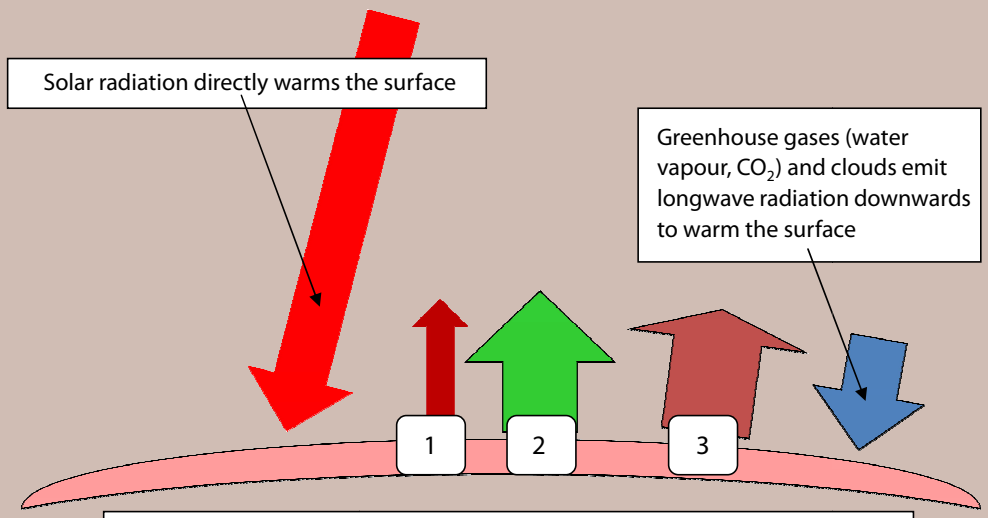
BOX 1

The surface energy budget: The uncertainty of evaporation

Some of the solar energy entering the Earth's atmosphere is reflected back to space from the clouds and surface and a little is absorbed within the atmospheric layer. A large fraction of the solar energy reaches the surface and is absorbed to warm the surface. The greenhouse gases (water vapour and CO_2) and clouds of the atmosphere emit longwave radiation back to Earth and this energy also acts to warm the surface.

The Earth's surface achieves energy balance and temperature equilibrium because it loses energy by way of direct heat exchange and evaporation of latent energy to the adjacent atmosphere, and by emission of longwave radiation from the surface.

As CO_2 concentration in the atmosphere increases so also the longwave radiation to the surface increases; there is an energy imbalance at the surface and the temperature begins to rise. As the temperature is raised the surface energy loss processes increase to find a new steady-state temperature. The magnitude of the temperature rise is confounded by uncertainty as to the rate of increase of evaporation with temperature. Theory and satellite assessments suggest a rise near the Clausius-Clapeyron relationship of 6% $°C^{-1}$ but model studies simulate a value closer to 2% $°C^{-1}$. If the rate is near the Clausius-Clapeyron relationship then the global temperature rise from a doubling of CO_2 concentration is likely less than 1 °C and not dangerous; if the rate is 2% $°C^{-1}$ or less as models suggest, then the global temperature rise might be more than 2 °C leading to dangerous climate change.



1. The warm surface generates a temperature gradient and heat is directly exchanged with the adjacent air
2. Water vapour evaporates from the ocean surface, wet soils and plant material to exchange latent energy with the adjacent air.
3. Infrared radiation is emitted upward from the surface

These energy loss processes act to cool the surface and their magnitudes vary with the surface temperature.

If evaporation and latent energy exchange increase near the Clausius-Clapeyron relationship (globally near 6 percent per degree Celsius, 6% °C^{-1} as given by satellite estimates) then the surface temperature response to a doubling of CO_2 concentration is muted. However, if the increase is lower, as is simulated in the computer models of the climate system (GCMs), then most of the radiation forcing from increased CO_2 concentration must be taken up as infrared-radiation emission and the surface temperature increase becomes much larger.

2 The hydrological cycle

There is uncertainty about quantification of the global average evaporation response to surface temperature variation and this uncertainty cascades through to predictions of global temperature response to CO_2 forcing.

In GCMs the surface evaporation is calculated using a standard formula taking account of wind speed, near-surface stability and the specific humidity gradient. If the wind speed, stability and surface relative humidity remain constant, then the evaporation will increase with temperature according to the Clausius-Clapeyron relationship, or near 7% °C^{-1}.

Evaporation is a very difficult quantity to measure with accuracy. However water vapour only spends about two weeks in the atmosphere between evaporation and precipitation. Over periods of a month or longer the global precipitation approximates to the global evaporation, and precipitation is amenable to measurement. A number of satellite-based methods have been developed to estimate precipitation and regional estimates have been validated using surface observations. Wentz *et al.* [6] have used satellite-based methods to estimate the change in precipitation (and therefore evaporation) as global surface temperature varied during the 1980s and 1990s. Their estimate of about 6% °C^{-1} is only slightly less than the Clausius-Clapeyron relationship. The difference was rationalised as being reasonable because of the existence of arid land areas with reduced evapotranspiration compared to that of transpiring forests and the oceans.

Analyses of the GCM used in support of anthropogenic-global-warming predictions of the 2007 IPCC Fourth Assessment Report (AR4) have identified that, on average, the rate of increase of global evaporation with temperature in these models is only about 2% °C^{-1} [7].For individual models the rate of increase of evaporation with temperature ranges between 1% °C^{-1} and 3% °C^{-1} [6]. The reasons for the apparently low rate of increase of evaporation with temperature in the GCM has been studied by Richter and Xie [8] who found a consistent decrease in surface wind speed, increase in boundary layer stability and increase in boundary layer relative humidity; each of these contributes to suppressing the rate of increase of evaporation below the Clausius-Clapeyron relationship.

The relationships set out in table I highlight the importance of identifying what is a realistic rate of increase of evaporation with temperature. The range of sensitivity of global temperature to double CO_2 suggests that the response could be less than 1 °C and not dangerous if the evaporation response is near the Clausius-Clapeyron relationship, as might be expected with a water planet. Alternatively, if the evaporation response is as the GCM simulations suggest, then a dangerous temperature rise significantly greater than 2 °C is plausible. It is important to identify the real rate of increase of evaporation with temperature for Earth and resolve the uncertainty.

3 The global energy budget

A steady-state climate system requires that the non-radiation energy exchanges (heat and latent energy) between the surface and the atmosphere should equate with the radiative cooling of the atmosphere. Clearly, if radiation cooling of the atmosphere is constrained, then the ability of the atmosphere to receive heat and latent energy from the surface is also constrained and the surface will warm. Such constraints do not occur if the atmospheric temperature and moisture structures and the cloud distribution can readily respond to changing surface energy exchanges and modify the radiation cooling of the atmosphere.

Set out in table 2 are indicative values for the radiation cooling of the troposphere (units W/m^2) for changes in atmospheric CO_2 concentration and global temperature. The CO_2 concentrations are 400 ppm (near present values) and 800 ppm (a doubling of concentration expected near the end of the century). The radiation cooling has been computed using the MODTRAN program of the University

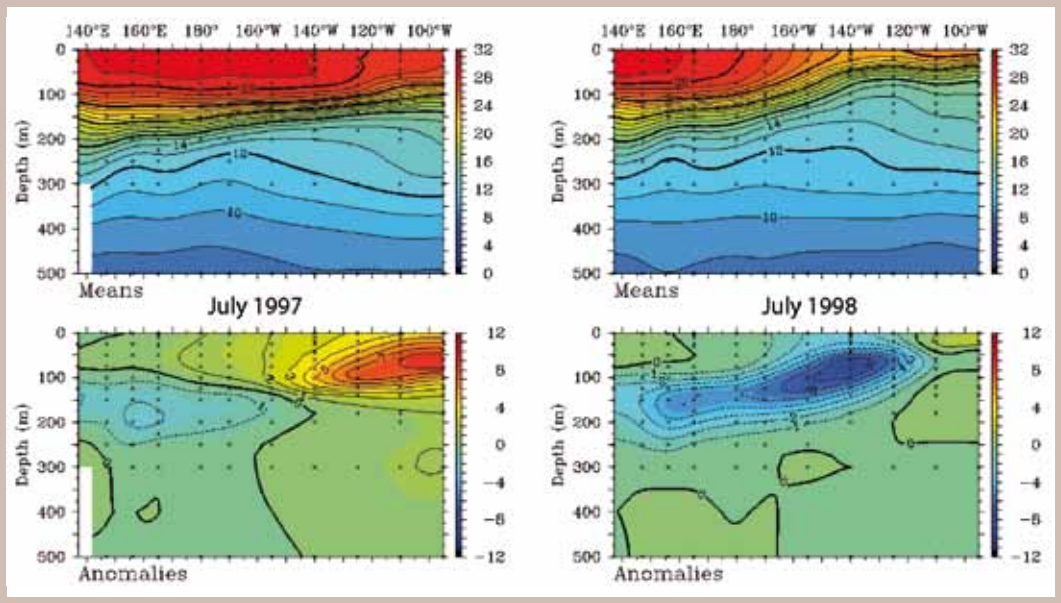
	CO_2 concentration	
	400 ppm	800 ppm
US Standard Atmosphere	−138.8	−137.3
US Standard Atmosphere +1 °C	−141.6	−139.6

Tab. 2 Indicative values of radiation cooling of the troposphere (W/m^2) with different CO_2 concentrations and global temperatures.

BOX 2

Ocean dynamics changes surface temperature patterns

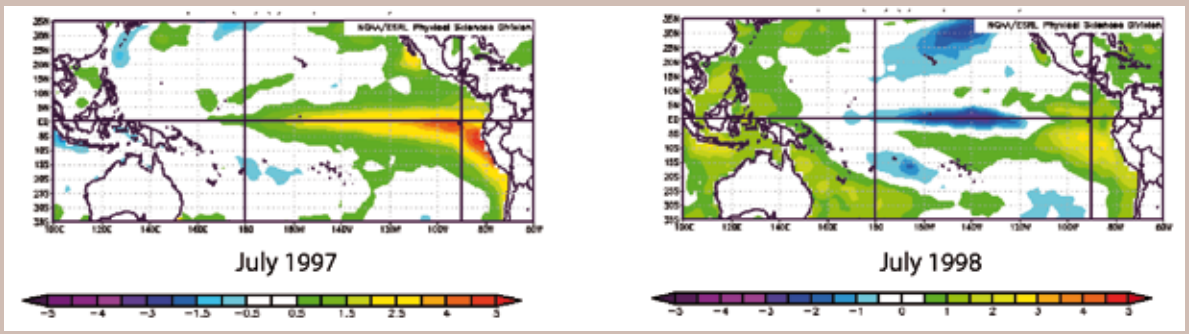
El Niño is a climate event that has a life cycle of about a year and recurs with varying intensity every few years. Not only is there significant change to the tropical temperature patterns of the Pacific Ocean but also there are dramatic global impacts on climate. In July 1997 an El Niño event was nearing peak intensity but by July 1998 the event had collapsed.



(Depth sections from the TAO Program Office of the US NOAA/Pacific marine Environmental laboratories from their web site `http://www.pmel.noaa.gov/tao/disdel/disdel.html`)

The warm tropical oceans are no more than a thin lens overlying the cold interior. The top panels (LHS – July 1997; RHS – July 1998) are depth sections of the upper 500 metres of the equatorial Pacific Ocean stretching approximately 12 000 km from New Guinea to Ecuador. There is a strong vertical temperature gradient at about 200 metres separating the warm mixed surface layer from the cold subsurface water that extends to the ocean floor. The cold ocean interior is maintained by the thermohaline circulation as cold saline water sinks during formation of polar sea ice in autumn and winter. Across the tropical oceans ascending cold subsurface water that is displaced by sinking polar water mixes into the surface layer to regulate temperature.

The lower panels are of the temperature anomalies for July 1997 (LHS) and July 1998 (RHS). These highlight the variability of tropical surface mixed layer temperature due to changes in upwelling and mixing of cold subsurface water over the equatorial Pacific Ocean.



(Anomaly of Sea surface temperature)

The ocean surface temperature anomaly charts (July 1997 – LHS; July 1998 – RHS) show that changing upwelling regulates surface temperature over an extensive area of the tropical Pacific Ocean.

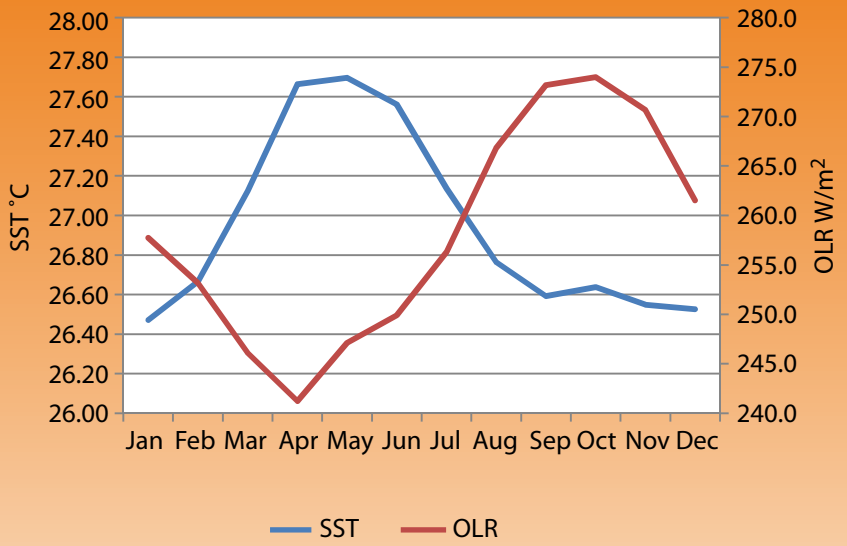


Fig. 1 A comparison of monthly average sea surface temperature (SST) and outgoing longwave radiation to space (OLR) over the Niño 3.4 region of the equatorial Pacific Ocean (Lat 5° N to Lat 5° S; Long 170° W to Long 120° W). Note that there is a negative correlation between the sea surface temperature because as sea surface temperature increases there is an increase in the intensity of deep convection in order to disperse the additional heat exchanged from the surface; more deep convection clouds with cirrus outflow means that the infrared radiation to space decreases because it originates from a higher colder altitude.

of Chicago [9] and is for the troposphere based on the US Standard Atmosphere (tropopause at 10.5 km) under clear-sky conditions. In these calculations the relative humidity of the atmosphere has been held constant so that atmospheric water vapour increases with temperature according to the Clausius-Clapeyron relationship (the water vapour feedback condition). Table 2 indicates that the radiation cooling of the troposphere decreases slightly as the CO_2 concentration increases but increases as the surface and tropospheric temperature increase. Overall, for a doubling of CO_2 concentration and a 1 °C temperature increase, there is a small increase in radiation cooling of about 0.8 W/m^2.

The global average latent energy exchange from the surface can be estimated from the global precipitation and is about 78 W/m^2. If the rate of evaporation increases according to the Clausius-Clapeyron relationship of 7 % °C^{-1}, then a 1°C surface temperature rise would increase the rate of latent energy exchange by about 5.6 W/m^2. This is significantly greater than the indicative 0.8 W/m^2 increase in radiation cooling attributed to the doubling of CO_2 concentration and a 1°C temperature increase set out in table 2.

On this evidence it is possible that there is a relatively slow rate of change of radiation cooling of the troposphere and evaporation response could be constrained to a value well below the Clausius-Clapeyron relationship. That is, the low rate of evaporation increase of the GCMs that is significantly less than the Clausius-Clapeyron relationship might be a realistic response to changing CO_2 concentration. Under these conditions, for a new steady-state surface temperature the additional energy accumulation at the surface from the enhanced CO_2 back radiation forcing is required to be offset by significantly greater infrared-radiation emission. The steady-state temperature increase under these conditions would be higher for a doubling of CO_2 concentration than if the evaporation rate is closer to the Clausius-Clapeyron relationship.

However there is still the contrary satellite-derived estimate of surface evaporation change to consider. This latter indicates that evaporation does indeed increase near the Clausius-Clapeyron relationship. We are left with the dilemma: does radiation cooling of the atmosphere constrain surface evaporation (as suggested by the GCM response), or does the atmosphere respond, as the satellite analyses suggest, and generate appropriate structures for additional radiation cooling needed to accommodate a higher rate of evaporation?

4 Surface temperature forcing

Most of the non-radiative energy exchange between the Earth's surface and the atmosphere takes place over the tropics and the distribution through the atmosphere by way of deep convection is largely over the equatorial region. Across the equatorial Pacific Ocean there are both

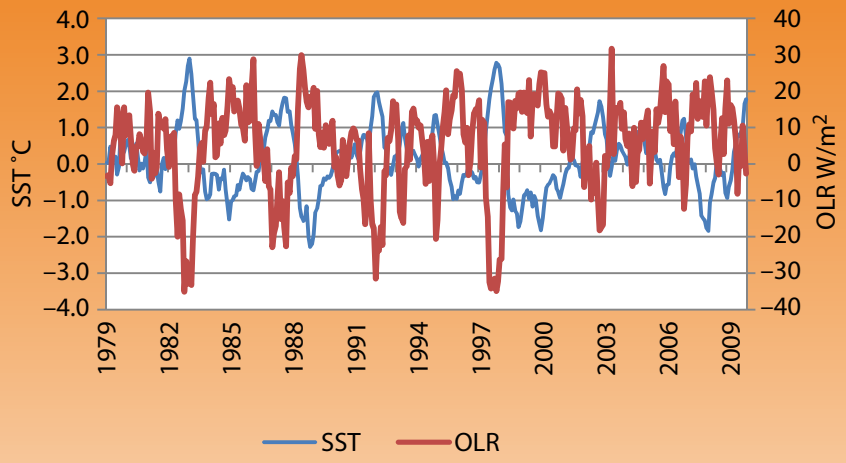


Fig. 2 Monthly anomalies of sea surface temperature (SST) and outgoing longwave radiation (OLR) to space over the Niño 3.4 region of the equatorial Pacific ocean (Lat 5° N-Lat 5° S; Long 170° W-Long 120° W) covering the satellite period 1979–2009. Note that as sea surface temperature increases during major El Niño events (reduced mixing of cold subsurface water into the surface layer) then the accompanying increase in deep convection clouds causes a decrease in longwave radiation to space. Outgoing longwave radiation to space increases during La Niña events because enhanced mixing of cooler subsurface water into the surface layer reduces surface temperatures and convection is suppressed.

seasonal and interannual variations in surface temperature and cloudiness to test for consistent relationships between surface temperature variation and atmospheric response.

Box 2 illustrates how ocean dynamics can vary temperature patterns across the tropical Pacific Ocean. The apparently warm tropical ocean is only a thin lens overlying the deep cold interior. The interior of the ocean is kept cold by the thermohaline circulation where highly saline and near freezing polar waters under winter sea ice sinks to the ocean floor. The slow return ascent of this cold water in the tropics means that as it mixes into the surface layer it regulates the temperature.

The easterly Trade Winds blowing across the equatorial Pacific Ocean cause the maximum upwelling and mixing of cold subsurface water to occur off the coasts of South and Central America and out into the equatorial Pacific Ocean. Thus changes in the strength of the Trade Winds will vary the rate of upwelling and hence the surface temperature. The Trade Winds across the Pacific Ocean vary seasonally and also on an interannual period with the well-known El Niño phenomenon.

Figure 1 shows that the annual range of sea surface temperature variation over the so-called Nino 3.4 region of the equatorial Pacific Ocean (Lat 5° N to Lat 5° S; Long 120° W to Long 70° W) is a little more than 1 °C. When sea surface temperature is a maximum during the months April through June there is a build-up of deep convection clouds that cause the outgoing longwave radiation to space to emanate from the high cold cirrus outflow cloud tops and thus reduce in intensity. The reduction in intensity of OLR as the clouds evolve is more than 30 W/m^2 and near an order of magnitude greater than the radiation forcing (about 4 W/m^2) from a doubling of CO_2 concentration.

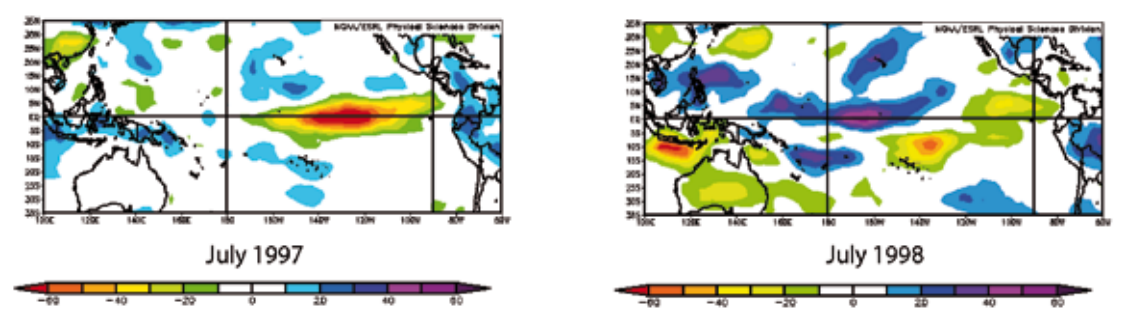
Figure 2 is a time history of surface temperature anomaly and outgoing longwave radiation anomaly over the Niño 3.4 region since 1979. The variation of surface temperature anomaly covers a range that some expect of global warming from a doubling of CO_2 concentration. The response of equatorial convection suggests that as surface temperature rises then additional energy is shed from the surface as heat and latent energy. Convection increases to transfer the additional energy vertically. These observations give no indication that radiation cooling of the troposphere is constraining deep convection in any way. The local build-up of convection and reduction in outgoing longwave radiation to space are a direct response to increase in surface temperature and the corresponding increase in non-radiative energy exchange from the surface. The local build-up of convection enhances the vertical transfer of energy away from the boundary layer.

Box 3 describes how the atmospheric circulation, cloud distribution, and patterns of outgoing longwave radiation respond to changing ocean temperature patterns. A surface temperature increase across the equatorial Pacific Ocean

BOX 3

Changing ocean surface temperature regulates local convection and radiation to space

The changing surface temperature over the equatorial oceans affects both the stability of the local troposphere and the exchange of heat and latent energy between the surface and atmosphere. As the local ocean temperature rises the added atmospheric instability and surface energy exchange allows more and deeper convection clouds to develop. With more and deeper convection clouds the radiation to space is largely from the cold cloud tops and the magnitude is reduced.



(Anomaly of outgoing radiation - ORL)

During the 1997 El Niño event the surface temperatures over the central and eastern equatorial Pacific Ocean became warmer than usual giving rise to a shift in the normal patterns of convection from the western to the central and eastern equatorial Pacific Ocean. The El Niño event was well developed by July 1997 and the pattern of anomalies of outgoing longwave radiation to space (LHS) was significantly reduced over the convection clouds of the central and eastern Pacific Ocean. The El Niño event had collapsed by July 1998 and the now colder waters of the central Pacific Ocean were inhibiting convection. The pattern of outgoing longwave radiation to space (RHS) was significantly increased because the reduction in convection clouds meant that more outgoing longwave radiation to space was coming from the lower warmer layers of the troposphere.

The atmospheric circulation, cloud distribution and radiation to space are all very responsive to changing patterns of tropical ocean surface temperature.

Sea surface temperature and outgoing longwave radiation Images in Boxes 2 and 3 are provided by the US NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado from their Web site at `http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/correlation/` [10].

(from whatever cause) will move the favoured location of deep convection, increase the rate of overturning and enhance the movement of heat and moisture away from the atmospheric boundary layer. This is in contrast to the reported performance of GCMs that suppress convective overturning as surface temperature increases, thus suppressing the ability of GCMs to shed additional energy from the surface by non-radiative processes. As a consequence, in the GCMs there is an unrealistic increase in the surface temperature in order that the additional energy from CO_2 forcing is lost by surface radiation emission to the atmosphere.

The observations of Pacific Ocean surface temperature and convection suggest that the low evaporation response to CO_2 forcing that is reproduced in GCMs is unrealistic.

5 The role of convection

The analysis of Richter and Xie [8] clearly points to changing boundary layer conditions that tend to inhibit free evaporation as surface temperature rises. The data from the equatorial Pacific Ocean suggest that these inhibiting factors in the models do not exist in the climate system; non-radiative heat exchange proceeds as surface temperature

rises and the energy is rapidly distributed through the troposphere by convective overturning. Key questions relate to why the GCMs do not respond to a surface temperature rise and increase the rate of convective overturning, thus more effectively removing energy from the boundary layer to maintain conditions suitable for ongoing evaporation.

A clue to the puzzle lies in the seminal paper of Riehl and Malkus [3] that explained how the heat and latent energy accumulating in the tropical boundary layer is distributed through the troposphere by way of deep equatorial convection. The authors found that they could not derive an energy budget for the equatorial trough zone when the rate of convective overturning is linked only to the large-scale wind field. They postulated buoyant ascent of boundary layer air within undiluted cloud towers where the mass ascent was offset, in part, by saturated downdraughts. The downdraughts originate in the middle troposphere where energy is a minimum and they are sustained by evaporation of cloud droplets and falling rain. To achieve energy balance Riehl and Malkus found it necessary to enhance the mass transport in the undulate updraughts by 60% above that dictated by the large-scale circulation; the corresponding magnitude of mass transport within the downdraughts was 38% of the updraught value.

There are many studies that identify how the mesoscale structures of deep cumulus clouds evolve. The heat and latent energy of the boundary layer is transformed to potential energy in the protected updraughts that penetrate to tropopause height. The potential energy is subsequently realised as heat during compensating clear air mass subsidence and the realised heat is available to offset ongoing radiation cooling. The downdraughts gain negative buoyancy as unsaturated middle tropospheric air is cooled and brought to saturation through mixing with and evaporation of cloud material and falling raindrops. The cooler air in the downdraughts sinks to the surface and spreads out; it displaces the higher energy boundary layer air that is being entrained into the updraughts. The downdraught air acts to ventilate the boundary layer with cooler and dryer air from the middle troposphere.

There are two lessons from the Riehl and Malkus analysis. Firstly, the physics of cloud formation, including the generation of buoyancy forces, overwhelm the stable stratification of the large-scale circulation to generate convective overturning that involves both updraughts and downdraughts. Secondly, the magnitude of the downdraughts is a large fraction of the vertical mass transport and both enhances the overall vertical energy transport and strongly ventilates the boundary layer to enhance the conditions for non-radiative surface energy exchange.

Characteristics of the GCMs used in the IPCC Fourth Assessment suggest that there are significant deficiencies in the model specification of deep convective clouds. Held and Soden [7] have identified that as temperature and specific humidity of the model atmospheres increase then the rate of convective overturning decreases; although this behaviour is internally consistent with the model construct it is not what is observed over the Niño 3.4 region of the Pacific Ocean. Nor is it consistent with studies that identify strengthening of the tropical Hadley Cell circulation during the warming of the 1980s and 1990s. The lack of ventilation of the model boundary layer suggests that the strength of the convective downdraughts is under-specified in the GCMs.

6 Discussion

The rate of increase of evaporation with temperature is a critical determinant of the potential for dangerous anthropogenic global warming. If the rate is near the Clausius-Clapeyron relationship, a proposition supported by limited observational evidence, then the warming of the Earth from a doubling of CO_2 concentration is constrained and not likely to be dangerous for the planet. If, however, the rate is significantly less than the Clausius-Clapeyron relationship, as indicated by the performance of GCMs, then continued unconstrained use of fossil fuels and emission of CO_2 into the atmosphere may cause global temperature rise to exceed 2 °C leading to dangerous disruption to the climate system.

The GCMs used to model the climate system are energy conserving and expected to represent the energy flow through the climate system. The absorption of solar radiation, its transformation to longwave radiation, and the interaction of longwave radiation with the so-called greenhouse gases before emission to space are well understood and specified. However the non-radiative processes, especially those sub-grid scale processes associated with the clouds and the hydrological cycle, are also critically important in regulating the energy flow and establishing the steady state of the climate system. The physics of sub-grid scale clouds and the interactions between clouds and the larger-scale circulation are not well understood nor well quantified.

The GCMs used in support of the IPCC Fourth Assessment have been shown to be capable of representing many of the aspects of the steady-state climate system. However when CO_2 concentration is increased, and the system moves from its prior steady state, there are reported anomalous responses that impact on the magnitude of warming. A decrease in convective overturning allows the stability and relative humidity of the boundary layer to increase. As a consequence, the rate of increase of evaporation (and

exchange of latent energy to the atmosphere) is constrained. For a new steady state consequent on increased CO_2 concentration and water vapour feedback the additional radiation energy accumulating at the surface must be lost to the atmosphere as radiation emission. This latter requires a higher surface temperature than if evaporation increased with surface temperature according to the Clausius-Clapeyron relationship.

The proposition made here is that it is inadequacies in the formulation of sub-grid scale convection in the GCMs that contribute to the anomalous model behaviour under CO_2 forcing. Empirical studies suggest that the vertical energy transport within deep convection is inadequately specified; the updraught mass flow must be significantly augmented by saturated downdraughts if the required vertical mass and energy exchanges are to be achieved. The downdraughts, that bring cooler and relatively dry air to the surface, are expected to regulate the boundary layer stability and relative humidity such that evaporation can readily respond to the additional heating.

There is need for global equivalence between the exchanges of non-radiative energy from the surface and radiative cooling of the troposphere. The observed responsiveness of equatorial convection to relatively small changes in ocean surface temperature suggests that local and regional convection are not constrained by prevailing radiation cooling of the troposphere. Convection is only limited by the ability of convective buoyancy forces to overcome the local stability of the troposphere. It is the troposphere thermal structure and radiative cooling that respond to the needs for convection.

The uncertainty surrounding the specification of sub-grid scale convection in GCMs has important ramifications for predictions of anthropogenic global warming from burning fossil fuels and increasing CO_2 concentration. If, as empirical observations of global precipitation suggest, the rate of increase of evaporation with temperature is near the Clausius-Clapeyron relationship then model projections of anthropogenic global warming are exaggerated and a doubling of CO_2 concentration is unlikely to see global temperatures exceed 1 °C.

References

[1] C. H. B. Priestley, *"The limitation of temperature by evaporation in hot climates", Agr. Meteorol.*, 3 (1966) 241.

[2] J. T. Kiehl, and K. E. Trenberth, *"Earth's annual global mean energy budget", Bull. Am. Met. Soc.,* 78 (1997) 197.

[3] H. Riehl and J. S. Malkus, *"On the Heat balance of the Equatorial Trough Zone", Geophysica*, 6, no. 3-4 (1958) 503.

[4] K. E. Trenberth, and D. P. Stepaniak. *"The energy flow through the Earth's climate system", Q. J. R. Meteorol. Soc.,*130, no. 603 (2004) 2677.

[5] W. Kininmonth, *"A Natural Constraint to Anthropogenic Global Warming", Energy & Environ.,* 21, no. 2010 (2010) 225.

[6] F. J. Wentz, L. Riccaiardulli, K. Hilburn and C. Mears, *"How much more rain will global warming bring", ScienceExpress*, 31 May 2007.

[7] I. M. Held and B. J. Soden, *"Robust responses of the hydrological cycle to global warming" J Climate,* 19 (2006) 5686.

[8] Richter, I. and S-P Xie, *"Muted Precipitation Increase in Global Warming Simulations: A Surface Evaporation Perspective" J Geophys, Res.*, 113 (2008) D24118.

[9] MODTRANS is a radiation transfer model maintained by the University of Chicago and is accessible online at `http://geoflop.uchicago.edu/forecast/docs/Projects/modtran.orig.html`

[10] E. Kalnay *et al., "The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. Bull", Amer. Meteor. Soc.*, 77 (1996) 437.

William Kininmonth

Qualifications: B.Sc (UWA), M.Sc (Colo State U), M.Admin (Monash U).

Experience: William Kininmonth is a consulting climatologist with more than 45 years professional experience, of which 38 years were with the Australian Bureau of Meteorology. For 12 years until 1998 he was head of the Australian National Climate Centre. He has worked closely with the World Meteorological Organization since 1982, in expert working groups, lecturing at regional training seminars, and later as a consultant. He has been a member of Australian delegations dealing with climate.

William Kininmonth is author of the book, Climate Change: A Natural Hazard (Multi-Science Publishing Co, UK) 2004.

LA SPECIALISTA EMILIANA DELLA PERSONALIZZAZIONE NELL'INFORMATION TECHNOLOGY

Sistemi informatici avanzati, progettati specificamente per ogni esigenza sperimentale: il contenimento dei costi informatici passa anche attraverso l'impiego di sistemi "personalizzati", che eliminano ciò che non serve. Un'azienda che comprende i problemi della ricerca aiuta il CERN a gestire giganteschi flussi di dati.

La sede della E4, a Scandiano (Re).

Un Disk Server E4 per il CERN.

E4 Computer Engineering SpA è un'azienda fondata a Scandiano (Re) nel 2002, dalla volontà di due giovani soci (Vincenzo Nuti e Cosimo Gianfreda) di costruire un'azienda innovativa nel settore dell'IT (Information Technology).

Il loro lavoro ha sempre riguardato l'informatica, da quando avevano iniziato con la produzione di PC; in seguito si sono dedicati all'allestimento di work-stations professionali, e quando sono arrivati a lambire il mondo dei server hanno capito che quello sarebbe stato il settore che avrebbe garantito più chance di successo.

E4® non è nata da un'idea vincente come può essere un prodotto particolare, che possa rappresentare una innovazione tecnologica, ma piuttosto dalla volontà di realizzare prodotti di qualità e costruiti "su misura" per le esigenze della clientela. Analizzando il mercato dei server, i due informatici constatarono che era composto soprattutto dalle multinazionali, ma anche da un gran numero di piccole aziende, cosa che faceva ben sperare nella possibilità di individuare una nicchia di mercato aperta per la nascente azienda. Il presupposto di partenza è stato il monitoraggio di tutto il panorama mondiale dei produttori di componentistica per sistemi, per selezionare il meglio dei componenti e attraverso studi di Ricerca & Sviluppo molto sofisticati, integrarli in sistemi configurati su misura per le necessità di ogni singolo cliente.

Nel segmento di mercato scelto da E4®, l'offerta dei sistemi informatici professionali è caratterizzata dalla prevalenza di prodotti piuttosto "standardizzati" realizzati dalle maggiori aziende del settore, e dalla carenza di prodotti realizzati su misura. Di conseguenza, gli istituti sperimentali sono in difficoltà nel reperire prodotti che soddisfino particolari esigenze di calcolo. Inoltre trovare un fornitore di prodotti realizzati su misura a prezzi competitivi e con una buona assistenza post-vendita risulta quasi impossibile. Con questi presupposti è partito il progetto di offrire prodotti e competenze per soddisfare ogni esigenza informatica.

A questa idea iniziale è stata affiancata una sempre maggiore capacità di analisi delle necessità del cliente, e un alto livello qualitativo nella produzione e nel servizio post-vendita, finché oggi E4® è apprezzata per la capacità di realizzare le richieste del cliente. Del resto, anche i numeri parlano chiaro: nel 2002 il fatturato era di poco superiore ai 500 mila €, mentre per il 2010 si prevede di superare la soglia dei 10 milioni di €, un risultato importante, ottenuto in meno di 10 anni, in un mercato già saturo di concorrenti.

L'Azienda produce PC professionali impiegati negli studi grafici o per allestire strumentazioni biomediche, workstations per applicazioni differenti (fluidodinamica, montaggio video), server per vari usi (firewall, computing node, applicazioni scientifiche), oltre a sistemi di immagazzinamento dati e SAN (Storage Area Network) fino ai sistemi cluster.

Grazie anche alla collaborazione con alcune tra le aziende più prestigiose del settore informatico (Intel, AMD,

Veduta di una parte della sala server del CERN.

Server E7225.

Supermicro, e Microsoft), è l'unica azienda Italiana capace di competere nel mondo HPC con i colossi del settore (IBM, Dell, HP). E4® è anche l'unico partner HPC certificato da NVIDIA per i nuovi sistemi di calcolo ibrido GPU-CPU, che permettono aumenti della potenza di calcolo che vanno da 2 a 100 volte quella ottenibile col solo calcolo CPU.

In Europa esistono solo 4 o 5 aziende come E4 Computer Engineering, che riescono ad ottenere grandi risultati nonostante le dimensioni ridotte dell'Azienda; non a caso, Intel® ha riconosciuto a E4® il ruolo di partner più importante del sud Europa nel canale Server Processor.

Nella sua unica sede, l'Azienda conta su circa 25 dipendenti e si avvale anche della collaborazione con consulenti esterni, non solo nel settore informatico. Nelle forniture ai vari Istituti di ricerca, infatti, E4® collabora con consulenti informatici "accademici", esperti in chimica o in fisica, che conoscono bene il campo di applicazione dei sistemi hardware, e aiutano E4® a creare i prodotti migliori per le diverse finalità sperimentali.

È un'azienda che si definisce "etica", non limitandosi al lato economico del lavoro: contribuisce all'accrescimento culturale, economico e sociale dei dipendenti, al rispetto dell'ambiente e da anni offre un supporto attivo e consistente ad alcune organizzazioni ONLUS che combattono il crimine organizzato e le ingiustizie sociali, tra cui Libera *"Libera. Associazioni, nomi e numeri contro le mafie"* di don Luigi Ciotti.

Una attenta metodologia di lavoro

E4® è una delle poche aziende Italiane ad effettuare test molto approfonditi sui vari sistemi e piattaforme, determinando le prestazioni, i consumi energetici e le migliori combinazioni tra componenti differenti, per la realizzazione di prodotti "custom", creati appositamente per le esigenze dei clienti. Viene dedicata molta attenzione a questi test, perché permettono di fornire ai clienti tutte le informazioni e l'assistenza necessari affinché i loro acquisti siano effettuati in modo consapevole, cioè con la certezza che il prodotto soddisfi effettivamente le loro esigenze.

L'amministratore delegato di E4 Computer Engineering, Vincenzo Nuti, spiega come l'Azienda assista i clienti nei loro acquisti: "Per scegliere al meglio i prodotti più adatti ai requisiti computazionali individuali, forniamo l'accesso in remoto ai nostri sistemi, in modo che i nostri clienti possano verificare le performance delle varie apparecchiature prima dell'acquisto. Del resto gli istituti di ricerca, che spesso si trovano di fronte al problema della carenza di fondi, devono necessariamente essere cauti negli acquisti e cercare di spendere bene, evitando i prodotti non adatti alle loro esigenze".

Per alcuni clienti non è sempre facile esplicitare le proprie esigenze computazionali e questa difficoltà rende complesso il lavoro di concertazione di E4 Computer Engineering, che si prefigge di aiutare il cliente a effettuare le scelte più adatte alle necessità di calcolo "Ma con clienti 'sensibili' come il CERN", dichiara Vincenzo Nuti, "E4 non ha incontrato nessuna difficoltà e ha potuto lavorare con una controparte capace di evidenziare tutte le proprie richieste".

Le forniture per il CERN

Grazie alla professionalità ed etica del personale del CERN, il team di E4 è riuscito a svolgere il proprio lavoro in condizioni ottimali, ottenendo risultati estremamente soddisfacenti e particolarmente apprezzati dall'Ente Europeo.

C'era bisogno di sistemi informatici dai costi ragionevoli e che garantissero la massima efficienza e il minimo consumo energetico. Sono stati installati circa 3000 sistemi, per un utile attorno ai 5-6 milioni di €; soprattutto, il lavoro ruotava attorno al progetto LHC Computing Grid, volto a permettere la gestione delle enormi quantità di dati ottenuti durante gli esperimenti.

IL progetto LHC computing Grid

Questa rete informatica è stata progettata dal CERN per immagazzinare, analizzare e mettere a disposizione di tutta

la comunità dei fisici delle alte energie che lavorano su LHC, l'enorme quantità di dati ottenibili dagli esperimenti fondamentali. Si parla di circa 300 GB/s, che vengono "filtrati" a seconda dell'esigenza di focalizzare l'attenzione su particolari fenomeni rilevanti, fino ad ottenere 300 MB/s di dati.

Una parte della rete, a fibre ottiche, è di proprietà dell'ente, mentre il resto è formato da porzioni della rete pubblica ad alta velocità; le informazioni vengono inviate a 11 istituti accademici in Europa, Asia e Nord America, che li immagazzinano per conto del CERN. Inoltre i dati utili a scopi di ricerca e didattici vengono condivisi con altri centri di calcolo in 34 paesi di tutto il mondo, per un totale di più di 170 enti coinvolti.

Uno fra tutti: il server E7225

Si tratta di un sistema innovativo, progettato per aumentare la densità computazionale, mantenendo sotto controllo i costi di gestione. Contiene 4 schede madri, ognuna capace di alloggiare 2 processori Intel Xeon quad-core serie 5500, che condividono due alimentatori. Ogni scheda può essere rimossa senza dover spegnere le altre schede madri. Inoltre, grazie alla possibilità di contenere 4 schede madri in un unico chassis 2U, garantisce efficienza prestazionale e basso consumo energetico; risulta inoltre facile da gestire e con costi di manutenzione ridotti al minimo.

Raggiungendo fino a 353 Gflops/kW di potenza di calcolo, questo sistema garantisce il massimo finora raggiunto nelle prestazioni di un server di questo tipo in rapporto ai costi.

Le collaborazioni con il CERN per l'avventura di LHC rappresentano per le imprese un'opportunità di crescita tecnologica: l'interscambio di conoscenze tra professionisti provenienti dai mondi dell'impresa e della ricerca, permette alle aziende di acquisire un notevole know-how tecnologico, e di arricchire la qualità dei loro prodotti.

La E4 ha il merito di aver fatto da "traino" per tutte le altre aziende italiane che operano nel settore dell'IT: in un certo senso ha aperto la strada alle aziende simili per le forniture di altri sistemi informatici per l'ente. Un merito dell'Azienda è stato infatti l'aver segnalato all'istituto nuovi potenziali fornitori per le loro richieste di componenti di calcolo.

Andrea Gemma
Master in Comunicazione delle scienze all'Università di Padova

CRIOTEC IMPIANTI S.r.l.

LA PICCOLA TORINESE ED IL GIGANTE DELLA RICERCA

ENEA, INFN, Ansaldo, Research, Center, CEA… con questi nomi nel portafoglio ordini, la CRIOTEC srl di Chivasso (TO) non è certo estranea al mondo della ricerca. Anzi, il suo contributo è andato anche all' acceleratore di particelle LHC del CERN di Ginevra, la macchina più grande mai costruita dall'uomo: un anello di circa 27 km e una potenza di 50 megawatt che si trova nel sottosuolo tra Svizzera e Francia. E per questo contributo, la CRIOTEC nel 2005 si è guadagnata il premio Gold Award per l'Industria, creato per segnalare le aziende che si sono contraddistinte per impegno, qualità e tempistica.

Il fondatore dell'Azienda, Guido Roveta, ha 40 anni di esperienza sulle spalle in campo di impianti di frazionamento dell'aria e di criogenia (la tecnologia del freddo). Grazie

Interno del tunnel di LHC (Credit: CERN/LHC Consortium).

Fase di realizzazione di un settore di schermo criogenico in lega di alluminio, diametro 6 m, altezza 20 m per criostato elio del supermagnete CMS (CERN Ginvera).

Fase di montaggio presso i laboratori del CERN di Ginevra dello schermo criogenico per il criostato elio del supermagnete CMS.

alla personale convinzione che l'innovazione tecnologica è fondamentale per essere competitivi sul mercato, ha portato la sua piccola Azienda ad essere in grado di realizzare impianti sempre più sofisticati e capaci di soddisfare a pieno le esigenze del cliente.

"Quando abbiamo iniziato a lavorare per il CERN" racconta Guido Roveta "eravamo ancora abbastanza piccoli. Quindici persone. Ma stavamo già tentando di ampliare il mercato con commesse internazionali ottenute proprio in quel periodo. I progetti erano però di minore entità. Lavorare per LHC è stato molto impegnativo soprattutto per la durata: ben 5 anni di cantiere. Ma questo impegno ci ha dato l'opportunità di crescere in modo notevole, acquisendo tecnica e padronanza, anche mentale". Ora i dipendenti sono raddoppiati e sicuramente l'esperienza con LHC può essere messa in vetrina.

In particolare per LHC l'azienda ha progettato e realizzato linee di trasferimento di gas puri; oltre 34 000 metri di tubi saldati in orbitale (un tipo di saldatura particolare e complesso), dei quali si è dovuto controllare accuratamente la pulizia in modo da mantenere i gas nello stato di purezza originale. Non dimentichiamo inoltre la progettazione e la fornitura di 800 metri di linee superisolate sottovuoto per il raffreddamento con elio liquido a −270°C di speciali cavi superconduttori per il trasporto di energia ad alta efficienza.

Impiantistica ma anche criogenia; il mondo della ricerca è terreno fertile per i progettisti di CRIOTEC che rispondono all'esigenza di elasticità e duttilità e fanno della realizzazione *ad hoc* per il cliente quasi una sfida personale. Dal freddo al caldo, dal basso all'alto vuoto. Gli impianti più sofisticati sono quelli dei grandi esperimenti scientifici. Unici e particolari. E la soddisfazione di partecipare, di imparare, di superare nuove frontiere ha un prezzo che vale la pena di pagare: quello di investire in tecnologia ed in personale altamente qualificato.

E infatti, oltre all'impianto per il trasferimento dei gas, la CRIOTEC ha realizzato lo scudo termico (schermo criogenico) per il supermagnete di CMS, uno dei 4 esperimenti legati ad LHC. Un lavoro decisamente più complesso. E vediamo perché.

CMS è un rivelatore di particelle prodotte dalle collisioni ad altissima energia che avvengono all'interno dell'acceleratore LHC. Ma quello che interessa, è che si tratta del magnete superconduttore più potente al mondo. Il suo campo magnetico è di 4 tesla, cioè circa 80 000 volte il campo magnetico terrestre e le forze magnetiche generate sono estremamente intense. Per ottenere queste performance, CMS deve lavorare ad una temperatura prossima allo zero assoluto (circa −269° C). Questo è il motivo per cui il magnete è stato racchiuso in un enorme cilindro (criostato) le cui dimensioni sono 6 metri di diametro e 22 metri di lunghezza.

Una bella sfida per Guido Roveta e per tutte le 1600 industrie che hanno partecipato alla costruzione del gigantesco acceleratore del CERN.

"La prima cosa che mi viene in mente pensando oggi alla mia azienda − dice Roveta − è la fatica, l'impegno per ottenere la soddisfazione del cliente ". Ma per la CRIOTEC è sempre stato così.

Roberta Camuffo
Master in Comunicazione delle Scienze all'Università di Padova

CERIMONIA INAUGURALE XCVI CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

BOLOGNA, 20 SETTEMBRE 2010

Cerimonia Inaugurale del Congresso, nell'Aula Magna Santa Lucia di Bologna, con (da sinistra verso destra): Antonino Zichichi, Ivano Dionigi, Luisa Cifarelli e Maria Grazia Baruffaldi.

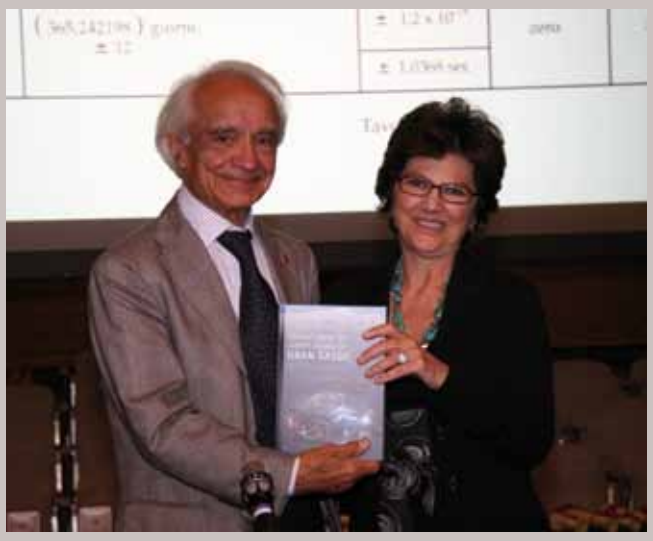
L. Cifarelli: Benvenuti alla Cerimonia Inaugurale del XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, nell'imponente Aula Magna Santa Lucia dell'Università di Bologna. Buongiorno a tutti e buongiorno in particolare ai nostri illustri ospiti e ai molti rappresentanti delle Società scientifiche italiane e straniere, che ringrazio per la loro presenza. Accanto a me, il Magnifico Rettore dell'Università di Bologna, Professor Ivano Dionigi, il Consigliere Provinciale, Dottoressa Maria Grazia Baruffaldi, in rappresentanza del Presidente della Provincia di Bologna, Dottoressa Beatrice Draghetti, e il Presidente del Congresso, Professor Antonino Zichichi. Era anche prevista la presenza del Commissario Straordinario del Comune di Bologna, Dottoressa Anna Maria Cancellieri, che ci ha però appena avvertiti di essere stata trattenuta altrove a causa di un impegno imprevisto.

Comunico che la Cerimonia odierna è trasmessa in diretta *streaming* grazie all'intervento dei tecnici e ricercatori dell'INFN-CNAF di Bologna, che sono qui alla *consolle*.

Vorrei iniziare questa Cerimonia dando in primo luogo la parola al Consigliere Provinciale Baruffaldi che ci porta il saluto del Presidente Draghetti.

M.G. Baruffaldi: Buongiorno a tutti, porto il saluto del Consiglio Provinciale e della Presidente Beatrice Draghetti. Ringrazio con vero riconoscimento la Professoressa Luisa Cifarelli per questo invito che ci consente di essere presenti ad una manifestazione così importante. Mi piace molto essere qui, perché considero questo ambiente come luogo dove si valorizza lo studio, la ricerca, il lavoro e quindi, mi viene di dire, la "fatica", una parola che contiene in sé almeno due azioni importanti: l'applicazione e l'impegno costante. Studio, impegno, fatica rimandano all'importanza del tempo, alla necessità di aver pazienza, per raggiungere obiettivi prefissati senza bruciare o schivare le tappe che servono. Studio e fatica implicano calma, riflessione, diligenza, in un mondo nel quale invece domina, come ben sappiamo, la fretta, la faciloneria, la superficialità. È quindi per me un onore essere qui e vi auguro davvero buon lavoro per queste giornate e per il vostro futuro.

L'Aula Magna Santa Lucia durante la Cerimonia Inaugurale del Congresso.



Luisa Cifarelli e Antonino Zichichi.

Faccio i miei complimenti a coloro che riceveranno i premi che sono stati già definiti, come il prestigioso Premio "Enrico Fermi"; quindi i più sinceri complimenti a loro e a voi per il vostro lavoro.

L. Cifarelli: Grazie. Magnifico Rettore, adesso a Lei la parola.

I. Dionigi: Buongiorno a tutti, ai colleghi di Bologna e fuori Bologna, e di fuori Italia, è un vero piacere porgervi il saluto. Vedo anche con altrettanto piacere qualche collega Rettore qui presente, a me accomunato in questo lavoro meraviglioso e tremendo che facciamo.

Io credo che questo di oggi sia uno di quei casi fortunati in cui possiamo restituire il significato autentico anche alle parole. Si parla sempre di "eventi" e vorrei sottolineare questa parola. Qui c'è davvero un "evento" nel senso di "accadimento". La Società Italiana di Fisica fa il suo Congresso di annosa tradizione e dopo trentasei anni, dal 1974, torna a farlo a Bologna in collaborazione con il Dipartimento di Fisica, il prestigioso Dipartimento "Augusto Righi". Un Dipartimento che negli anni pioneristici '50-'60 godette anche di una particolare convenzione con il Comune di Bologna. Ho il ricordo, allora ero Consigliere Comunale, di una cifra significativa messa a bilancio in virtù di quella convenzione. Parliamo degli anni del Sindaco Dozza ed altri, quando c'era molta sensibilità per la ricerca e c'era questo connubio. Per altro il Dipartimento ha organizzato diverse Assemblee Generali della Società. Quella del 1901, mi piace ricordare, era stata presieduta dallo stesso Augusto Righi, altre poi da Quirino Majorana, meno famoso di Ettore, però anche lui molto importante. E poi vi sono stati i Congressi organizzati da Giampietro Puppi, che abbiamo già ricordato mi pare un anno fa, e presto a lui verrà intitolata l'Aula Magna del Dipartimento di Fisica.

Ma "evento" vuol dire anche, scusate la mia formazione professionale di classicista, "risultato", ossia che ciò che si compie alla fine arriva, e qui oggi ci sono anche dei risultati. "*Eventus*" deriva da "*evenire*", con valore risultativo, terminativo. Oggi verrà illustrato quanto è avvenuto la primavera scorsa al CERN, dopo un'avventura sospensiva se non ricordo male di alcuni mesi, nello straordinario anello di collisioni per protoni. Ciò verrà qui oggi ricordato dal Direttore Generale del CERN. Poi c'è un bel compleanno, il trentesimo del Laboratorio Nazionale del Gran Sasso. Il collega Professor Antonino Zichichi riferirà di questo.

Quello che ha inizio oggi è uno di quegli eventi che parlano da soli, parlano alla testa, al cervello, che fanno capire, fanno vedere dentro, come dicono i latinisti "*intelligere*". Parlano al cervello e parlano anche un po' al cuore, muovono, hanno anche un po' di *motus*, perché la fisica è questa materia di confine che è madre di una galassia di tante discipline. Le vostre otto sezioni di lavoro stanno a dimostrarlo, né io voglio inoltrarmi in cose che non so, però me ne rendo conto e così anche mi accuccio con rispetto e devozione verso le cose che non so, ma so che sono importanti.

La Fisica è una disciplina che parla non solo al cervello ma anche al cuore perché è alla frontiera della conoscenza, di questo si tratta. Si occupa, avrebbero detto i miei latinisti, di *res novae*, di tutto ciò che è rivoluzionario, che cambia e che smentisce anche costantemente se stesso. È anche questa la bellezza della ricerca, questo suo antidogmatismo, questa rivoluzione continua, che quindi fa da antidoto a questa modernità frettolosa e sudaticcia, a questa fotografia simultanea del presente. Invece qui si va a due dimensioni che rischiamo di perdere, una è quella della profondità e l'altra è quella del *continuum* delle cose e non delle improvvisazioni.

Quando si dice fisico a me viene in mente, sarà anche perché ho la fortuna di avere molti amici in questa disciplina qui e altrove, la parola "ricerca", nobile e severa sull'origine e sul destino, di quello che il lessico classico chiama il microcosmo da un lato, e sappiamo tutti di cosa parliamo, e macrocosmo dall'altro. Quando voglio fare l'esempio di chi ricerca il grande nel piccolo faccio sempre l'esempio della Fisica, perché cercare il grande nel grande è banale, cercare il piccolo nel grande è da miopi, invece cercare il grande nel piccolo, ecco questa è la sfida. La Fisica mi pare che abbia questo supplemento di valori, questo valore additivo che dimostra proprio come la cultura è una, diversi sono i linguaggi ma tutto si tiene e la cultura è unica.

La Fisica ci ricorda anche che purtroppo questo Paese soffre di un grande deficit di culture scientifiche, di una vera e propria, come è stato detto da un fisico, "anoressia scientifica". Sulle cause potremmo intrattenerci e sono molteplici, cultura crociana, mancata rivoluzione industriale, una certa paura popolare della Scienza, ma non è certo l'oggetto oggi. Io credo però che proprio per far capire al Paese l'importanza della ricerca, della Scienza, gli scienziati dovrebbero forse spendersi di più anche pubblicamente, al di fuori dei loro laboratori e delle loro "catacombe". C'è una militanza da fare e bisognerà farla, c'è il dovere di informare e di far capire a tutti che questo Paese senza scienziati non ha futuro. Ahimè, parliamo in un periodo dove le risorse, l'attenzione alla Scienza non godono di ottima salute, però per questo bisogna insistere, lavorare, dirlo, gridarlo, anche contro ogni tendenza. Perché io ricordo cosa dice il mio Seneca nelle *Naturales Quaestiones*: "*Quid est bonum?*", cosa è il bene?, "*scientia rerum*", la conoscenza delle cose. "*Quid est malum?*", cosa è il male?, "*imperitia rerum*", l'ignoranza. Grazie.

L. Cifarelli: Grazie Magnifico Rettore per le sue parole. Adesso vorrei pregare il Presidente del Congresso, Professor Antonino Zichichi, di prendere la parola.

A. Zichichi: Grazie Presidente.

In apertura di questo Congresso vorrei ricordare due illustri fisici scomparsi recentemente, che con me hanno dei legami profondi: Bruno Ferretti e Nicola Cabibbo.

Fu una mia grande fortuna incontrare Bruno Ferretti a Roma quando ero ragazzino, vincitore di una borsa di studio dell'allora pressoché inesistente INFN, e fu lui poi a portarmi a Bologna. Bruno Ferretti aveva una proprietà piuttosto unica, gli si poteva parlare di tutto; era una persona di grandi conoscenze e interessi. Oltre alle sue notevoli doti di scienziato e ai suoi importanti studi teorici pionieristici[1], in particolare sulla conservazione del numero barionico e sulla *self-interaction* dei mesoni vettoriali, voglio ricordare Bruno Ferretti anche per l'appoggio che ha saputo dare alla campagna in difesa di Galileo Galilei. Non è certamente un caso che Galilei sia stato dimenticato dalla nostra cultura e la colpa è nostra, non è di quelli che difendono giustamente Newton. Io ho avuto al mio fianco Bruno Ferretti in questa battaglia culturale finalmente vinta, visto che proprio l'anno scorso è stato celebrato l'anno mondiale di Galilei, anche se dedicato agli studi astrofisici del "padre della Scienza moderna". Un'altra battaglia vinta è stata quella per Majorana. Non dimentichiamo che Ettore Majorana, prima che nascesse il Centro di Erice, era semplicemente stato dimenticato, pur essendo stato definito da Enrico Fermi un genio al pari di Galilei e Newton. In tutte queste battaglie io ho avuto al mio fianco come una colonna sulla quale appoggiarmi questo illustre rappresentante della nostra disciplina che oggi il Presidente della SIF mi ha giustamente chiesto di ricordare.

Altro illustre rappresentante è Nicola Cabibbo. Per me Ferretti è stato un maestro, ma voi forse non sapete che Cabibbo è stato invece mio studente a Roma, senza che io ne fossi in realtà a conoscenza. Quando a Roma, giovanissimo, ricevetti l'incarico di fare esercitazioni di Fisica Sperimentale, mi preoccupai di leggere con attenzione la lettera che il Direttore dell'Istituto di Fisica inviava agli incaricati. Nella lettera c'era scritto: se si rompono gli strumenti di laboratorio, le spese di riparazione verranno addebitate agli incaricati. Per ammettere studenti al laboratorio bisognava quindi fare loro un test di selezione, ossia domande tali da capire se quei ragazzi fossero effettivamente in grado di lavorare con gli strumenti di grande valore messi a loro disposizione. Io presi alla lettera quello che il Direttore scriveva e interrogai i 250 studenti che dovevano venire a fare esercitazioni di Fisica Sperimentale all'Università di Roma nell'anno 1954. Il numero di studenti ammessi al corso risultò essere il concetto platonico di zero: nessuno. Il Direttore mi invitò ad essere più elastico, a parlare con gli studenti. Fu così che incontrai un comitato di rappresentanti degli studenti. Tra questi c'era Nicola Cabibbo, che io però non conoscevo ancora. Erano cinque ragazzi e mi dissero che volevano essere ammessi al laboratorio, ma come fare se nessuno spiegava loro nulla? Chiesi loro che cosa volessero sapere e mi risposero che poiché venivano tutti bocciati sulle unità di misura, desideravano essere bene edotti proprio su questo tema. In una nottata scrissi trenta pagine sulle unità di misura e diventai così il più popolare giovane professore dell'Università di Roma. L'episodio mi è stato ricordato da Nicola tanti anni dopo quando scoprì che in dispense (firmate da altri) c'erano quelle mie trenta pagine, esattamente riprodotte.

Con Nicola Cabibbo abbiamo fatto due lavori, uno sulla struttura tipo tempo del protone, lavoro di natura fenomenologica, e un altro di natura sperimentale, quando entrò in crisi la teoria V–A, che noi ovviamente adesso prendiamo per scontata. Allora era stata misurata la polarizzazione del positrone emesso nel decadimento muonico ed era stata trovata uguale a zero. L'esperimento fu ripetuto a Ginevra dal nostro gruppo di cui fece parte anche Nicola Cabibbo, poiché aveva grossi interessi sperimentali. Abbiamo così dimostrato con la tecnica della annichilazione dei positroni che la polarizzazione era come previsto dalla V–A.

Queste sono le attività in comune con Nicola che è però noto in tutto il mondo per il suo "angolo di Cabibbo". Tale angolo non fu preso sul serio da quello che lo introdusse per primo, cioè Murray Gell-Mann. Gell-Mann e Levy, in una nota a fondo pagina di un loro lavoro, introdussero infatti il "parametro epsilon". Però lo lasciarono lì e nel 1964, siccome Nicola Cabibbo era stato mio studente, io convinsi Dick Feynman a fare delle lezioni a Erice dedicate a questa grande novità. Come sapete Feynman e Gell-Mann non andavano molto d'accordo e Dick Feynman si scatenò, così che l'angolo di Cabibbo divenne molto famoso, creando a me grosse difficoltà con il mio amico Murray Gell-Mann. Gell-Mann infatti mi rimproverò di avere promosso l'angolo di Cabibbo che di fatto corrispondeva al suo parametro epsilon. Questo parametro produceva però correnti neutre con cambiamento di sapore: correnti mai osservate sperimentalmente. Tutto questo finimondo si è chiarito dopo circa 25 anni e adesso siamo qui a ricordare chi ha aperto la strada: Nicola Cabibbo, che ha dato l'impulso fondamentale a questa problematica in quanto non era solo questione di un parametro ma di tutte le reazioni in cui intervenivano sia i processi con cambiamento di stranezza sia quelli senza cambiamento di stranezza. E non è un caso che io abbia avuto l'ispirazione di misurare al mezzo per mille la vita media del muone per ricavare la costante di Fermi.

Nicola Cabibo è noto, come ho appena detto, per il suo angolo ma in verità ha fatto tante altre cose, ad esempio, insieme a Raoul Gatto[2], il lavoro più importante sui calcoli per le macchine a collisione e^+e^-. Una cosa poco ricordata è il fatto che Nicola Cabibbo sia stato il primo a mettere in evidenza come il fatto stesso che gli adroni non abbiano struttura puntiforme porti come conseguenza all'esistenza di una nuova fase della materia adronica cui si dà oggi il nome di *Quark-Gluon Plasma*. Un altro interesse di Nicola Cabibbo è stato l'uso di grandi *computer* per le simulazioni numeriche delle interazioni forti e deboli. Negli ultimi anni della sua vita era estremamente interessato alle architetture di calcolo ed è così che si è dedicato al *supercomputer* noto come APE.

Noi lo ricordiamo come un grande fisico e un grande amico della cultura scientifica. Io gli sono grato per avere anche lui difeso le nostre battaglie per Ettore Majorana e per il padre della Scienza moderna, Galileo Galilei.

Vorrei concludere presentandovi, in questa importante occasione, l'ultima delle nostre battaglie culturali, della quale ho parlato con il Presidente della SIF, Luisa Cifarelli, e cioè quella di istituire una "giornata mondiale del calendario". Qui siamo nella città di Bologna. Uno dei suoi insigni cittadini fu Papa Gregorio XIII. Egli diede vita al calendario gregoriano, ma chi l'aveva saputo elaborare era stato Aloysius Lilius. Medico, appassionato di astronomia e matematica, riuscì ad elaborare un calendario perfetto.

Calendario vuol dire informazione sul tempo che fa. Siamo a dicembre o a luglio, che significa? Fa freddo o c'è il sole? I romani avevano un calendario nel quale si diceva dicembre quando in realtà era giugno, perché adoravano il numero dieci e avevano deciso che il numero di mesi dovesse appunto essere dieci. Come ben sapete, dicembre vuol dire decimo mese dell'anno, novembre vuol dire nono, ottobre ottavo, settembre settimo, agosto si chiama così per via dell'imperatore Augusto, luglio per via di Giulio Cesare. L'imperatore Numa si accorse che non si poteva continuare così perché l'informazione del calendario era fuori fase con le stagioni. Allora

[1] Si veda l'articolo "In ricordo di Bruno Ferretti (1913-2010)", di A. Zichichi, pubblicato in versione online su questo numero de IL NUOVO SAGGIATORE.

[2] Si veda l'articolo "In ricordo di Nicola Cabibbo (1935-2010)", di R. Gatto, pubblicato in versione *online* su questo numero de Il Nuovo Saggiatore, e, dello stesso autore, l'articolo "*Nicola Cabibbo and his role in elementary-particle theory*" che compare a pagina 90.

si aggiustarono le cose aggiungendo gennaio e febbraio. Ma avere un'informazione in fase con le stagioni vuol dire giocare su tre mesi. Una stagione differisce infatti da un'altra per tre mesi non per un giorno.

La cultura cattolica aveva invece un problema per il quale era necessario un calendario in fase con un giorno non con una stagione. Quel giorno era la Pasqua che doveva essere la prima domenica dopo il plenilunio che segue l'equinozio di primavera. In questa affermazione ci sono tutti i movimenti della terra. Il problema era difficile da risolvere, tanto che nessuna civiltà al mondo aveva saputo farlo. Fu Aloysius Lilius a trovare la soluzione anche se nessuno lo sa. Ecco perché il nostro Rettore, il Presidente della Provincia e il Commissario di Bologna si sono impegnati con noi per lanciare la "giornata mondiale del calendario" affinché tutti i governi del mondo sappiano com'è nato il calendario perfetto. Ci sono voluti 350 anni affinché tutti i governi capissero perché quello di Aloysius Lilius era il calendario giusto. Basti ricordare che persino quando ci fu la rivoluzione francese e i rivoluzionari adottarono un nuovo calendario, anche quello risultò essere completamente sbagliato come tutti gli altri calendari.

Adesso noi siamo impegnati in questa battaglia culturale, che segue quelle per Ettore Majorana e per Galileo Galilei. Questa battaglia è per il calendario gregoriano, elaborato da Aloysius Lilius, medico, matematico e astronomo, nato a Cirò in Calabria. Le autorità di Cirò si sono impegnate affinché Cirò e Bologna siano al centro dell'attenzione nel celebrare il calendario gregoriano, in quanto è stato il Papa bolognese Gregorio XIII, con la sua Bolla del 1582, ad adottare il calendario del medico calabrese Aloysius Lilius.

Se tutti i popoli del mondo avevano sempre sbagliato i calendari è perché non si erano mai posti il problema di sincronizzare la data di calendario con un solo giorno e non una stagione. Oggi c'è il calendario perfetto, che i nostri posteri hanno in mano grazie a Gregorio XIII e ad Aloysius Lilius, un calendario che sarà valido per i prossimi milioni di anni. L'errore di questo calendario dipende esclusivamente dalla precisione con cui noi sappiamo misurare la durata effettiva dell'anno che, come voi sapete, è di circa un secondo all'anno. Non si può fare meglio.

Chiudo invitandovi a partecipare a questa campagna culturale per diffondere nel mondo la conoscenza di Bologna e di Cirò quali città grazie alle quali esiste il più preciso calendario al mondo, dopo millenni di tentativi completamente sballati.

L. Cifarelli: Grazie. È appena arrivato il Sub Commissario al Comune di Bologna, Dottor Raffaele Ricciardi, in sostituzione del Commissario Cancellieri, al quale do volentieri la parola per un saluto, che ci mancava, da parte della città.

Il Rettore ha dovuto fuggire via a causa di un altro impegno istituzionale. Si scusa con il Professor Zichichi che saluta cordialmente.

R. Ricciardi: Grazie a Lei Professoressa e buongiorno a tutti voi. Sono qui innanzi tutto a portare i saluti del Commissario Cancellieri che aveva previsto di partecipare a questo incontro; ha cercato fino all'ultimo momento di riuscire a venire ma un triste sopravvenuto impegno l'ha bloccata a Milano e mi ha pregato di sostituirla. Peraltro, portare il saluto dell'Amministrazione Comunale dopo che è intervenuto il Professor Zichichi è per me un po' imbarazzante.

L'Amministrazione Comunale riconnette un'importanza fondamentale a questo Congresso, anche se non posseggo ovviamente le competenze e le conoscenze per evidenziarne l'indubbio valore scientifico. Spetta invece a me sottolineare il fatto che Bologna e l'Università da sempre ospitano e sono promotori di questo tipo di iniziative, che rafforzano e valorizzano la cultura scientifica di altissimo livello in città, e in questo modo contribuiscono a valorizzarne ulteriormente, ove mai ce ne fosse bisogno l'offerta culturale. È per questo motivo che rinnovo a tutti voi il ringraziamento dell'Amministrazione Comunale per la vostra presenza, benvenuti a Bologna, e vi auguro, seppur con un leggero ritardo, buon lavoro. Sono certo che il Congresso si svolgerà benissimo e che ci saranno degli interventi splendidi; anche se sono un assoluto profano, sono un giurista per formazione, proverò a capirci qualche cosa. Grazie.

L. Cifarelli: La ringrazio per la sua presenza, essenziale e gradita.

A questo punto prima di cominciare, secondo tradizione, la premiazione del XCVI Congresso della Società Italiana di Fisica, debbo annunciare che la premiazione andrà avanti fino alle ore 11. Poi ci saranno le due relazioni generali plenarie di apertura, come anticipato dal Rettore Dionigi, una da parte del Professor Rolf Heuer, Direttore Generale del CERN, che è qui in prima fila, sul *Large Hadron Collider* (LHC), e l'altra da parte del Professor Antoninno Zichichi sul Laboratorio Nazionale del Gran Sasso dell'INFN, il laboratorio scientifico sotterrano più grande che esista al mondo per la ricerca fondamentale.

Questo laboratorio si deve proprio all'iniziativa, trent'anni fa, del Professor Zichichi che lo ha progettato ed è anche riuscito a farlo costruire. È questo il motivo per cui insieme ai Direttori del Laboratorio del Gran Sasso che si sono avvicendati nei ultimi anni e che sono qui presenti, ossia al Direttore attuale, Dottoressa Lucia Votano, al precedente, Professor Eugenio Coccia, e al precedente ancora, Professor Alessandro Bettini, abbiamo preso l'iniziativa di pubblicare un volume in onore del Professor Zichichi, ideatore di questo straordinario laboratorio sotterraneo. Il volume è realizzato dalla Società Italiana di Fisica, in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.
Il Presidente dell'Istituto, Professor Roberto Petronzio, mi ha mandato un messaggio in cui si scusa di non poter essere oggi qui presente. Io ho adesso il piacere, a nome della SIF e dell'INFN, di consegnare al Professor Zichichi questo volume pubblicato in suo onore.

A. Zichichi: Ringrazio di cuore la Professoressa Cifarelli, mia ex allieva, per questo libro.

L. Cifarelli: Vorrei chiedere al Professor Zichichi di consegnare una copia del libro, insieme alla cravatta della SIF, al Sub Commissario Ricciardi e poi, insieme alla sciarpa della SIF, al Consigliere Barruffaldi. Grazie Professore, e grazie anche al Sub Commissario e al Consigliere per la loro presenza qui con noi.

Ha ora inizio la Cerimonia di Premiazione della SIF.

In primo luogo consegniamo un diploma e una medaglia a un ristretto numero di colleghi che hanno conquistato il titolo di Socio Benemerito per i contributi dati alla Scienza e alla Società Italiana di Fisica. In ordine alfabetico vorrei chiamare:

- il Professor Antonio BERTIN dell'Università di Bologna, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Nucleare Sperimentale e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica;
- il Professor Aldo COVELLO dell'Università di Napoli Federico II, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Nucleare Teorica e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica.

A. Covello: Voglio ringraziare la Società per questo riconoscimento molto gradito, nel mio caso naturalmente ancora più gradito perché sono nel compimento dei primi cinquanta anni di appartenenza alla Società Italiana di Fisica, quindi comincio i secondi cinquanta anni con grande ottimismo, grazie.

L. Cifarelli: Continuo con:

- il Professor Vittorio DE ALFARO dell'Università di Torino, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Subnucleare Teorica e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica, che non ha potuto venire per motivi di salute (consegno la medaglia e il diploma al Professor Guido Piragino, della stessa università);
- il Professor Lorenzo FOÀ della Scuola Normale Superiore di Pisa, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Subnucleare Sperimentale e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica;
- il Professor Giuseppe MARCHESINI

dell'Università di Milano Bicocca, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Subnucleare Teorica e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica;

- il Professor Sergio MARTELLUCCI dell'Università di Roma Tor Vergata, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica della Materia Sperimentale e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica;

- la Professoressa Maria Teresa MUCIACCIA dell'Università di Bari, Socio Benemerito per i suoi meriti scientifici nel campo della Fisica Subnucleare Sperimentale e per i suoi contributi alla Società Italiana di Fisica.

Passiamo ora ai giovani, a coloro che nello scorso Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica, a Bari, hanno presentato le migliori comunicazioni nelle varie Sezioni parallele. I Premi per le Migliori Comunicazioni al Congresso sono congiuntamente offerti da Il Nuovo Cimento, The European Phisical Journal (EPJ), e la Fondazione del Monte di Bologna e Ravenna. Tutte le comunicazioni premiate saranno pubblicate in uno speciale fascicolo de Il Nuovo Cimento. Citerò qui solo i premiati che hanno potuto essere presenti oggi alla Cerimonia di Premiazione.

- Per la Sezione di Fisica Nucleare e Subnucleare, il Primo Premio va alla Dr.ssa Maria NICASSIO dell'INFN, Sezione di Bari, per la sua comunicazione "Prime misure di fisica con ALICE a LHC".

Secondo Premio *ex aequo*: alla Dr.ssa Giulia CASAROSA dell'Università di Pisa e dell'INFN, Sezione di Pisa, per la sua comunicazione "D^0 *mixing* e violazione di CP a BaBar", e al Dr. Davide BOLOGNINI dell'Università dell'Insubria e dell'INFN, Sezione di Milano Bicocca, per la sua comunicazione "Il sistema di *tracking* dell'esperimento UA9: rivelatori al silicio per lo studio della collimazione con cristalli curvati".

- Per la Sezione di Fisica della Materia, Primo Premio *ex aequo* al Dr. Francesco TACCOGNA dell'IMIP-CNR di Bari, per la sua comunicazione "*A new mechanism inducing anomalous transport in plasma: the sheath instability*", e alla Dr.ssa Lilla SCHIRÒ dell'Università di Messina e del CNISM di Messina, per la sua comunicazione "Proprietà dielettriche del tiofosfato di manganese intercalato con potassio". Secondo Premio *ex aequo* al Dr. Alessandro ZAVATTA dell'INOA-CNR di Firenze, del LENS di Firenze e dell'Università di Firenze, per la sua comunicazione "*Arbitrary superpositions of quantum operators by single-photon interference*", e al Dr. Jacopo BELFI dell'Università di Pisa e dell'INFN, Sezione di Pisa, per la sua comunicazione "*G-Pisa gyrolaser*".

- Per la Sezione di Astrofisica e Fisica Cosmica, Primo Premio al Dr. Luca LAMAGNA dell'Università di Roma La Sapienza, per la sua comunicazione "*The Sunyaev-Zel'dovich effect as a cosmic thermometer: methods, results and future prospects*".

- Per la Sezione di Geofisica e Fisica dell'Ambiente, Secondo Premio al Dr. Luca SPOGLI dell'INGV di Roma, per la sua comunicazione "Climatologia delle scintillazioni ionosferiche su segnali GPS nelle regioni nord europee".

- Per la Sezione di Biofisica e Fisica Medica, Primo Premio al Dr. Giuseppe MAULUCCI dell'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, per la sua comunicazione "*Compartmentalization of the redox environment in PC-12 neuronal cells*." Secondo Premio alla Dr.ssa Angela TERLIZZI del Dipartimento di Scienze Oncologiche dell'ASL di Taranto, per la sua comunicazione "Ottimizzazione radiobiologia dei protocolli radioterapici per il carcinoma della prostata".

- Per la Sezione di Fisica Applicata, Primo Premio al Dr. Diego ALBERTO dell'Università di Torino e dell'INFN, Sezione di Torino, per la sua comunicazione "Implementazione su FPGA di filtri digitali standard e adattativi per il trattamento di segnali da rivelatori di particelle".

- Per la Sezione di Fisica per i Beni Culturali, Primo Premio al Dr. Gianluca FIANDACA dell'Università di Palermo, per la sua comunicazione "La metodologia MYG per eseguire tomografie elettriche 3D su oggetti che presentano una superficie di pregio artistico". Secondo Premio alla Dr.ssa Gloria RISTUCCIA dell'Università di Catania e dell'INFN, Sezione di Catania, per la sua comunicazione "Datazione di malte storiche tramite OSL".

- Per la Sezione di Fisica Generale, Didattica e Storia della Fisica, Secondo Premio *ex aequo* al Dr. Samuele STRAULINO dell'Università di Firenze, per la sua comunicazione "Esperimenti di elettromagnetismo per insegnanti e studenti della scuola secondaria", e al Dr. Concetto GIANINO dell'IISS "Q. Cataudella" di Scicli (RG) e dell'INFN, Sezione di Catania, per la sua comunicazione "La fisica del *karate*".

Veniamo ora ai giovani e giovanissimi laureati in Fisica, vincitori dei Premi di Operosità Scientifica della SIF, intitolati ai passati illustri Presidenti della Società.

Cominciamo con i premi riservati ai dottori in Fisica laureatisi dopo il Maggio 2007. Abbiamo dato cinque premi che sono sponsorizzati da Adalta, ARPA Emilia-Romagna, CAEN, e National Instruments.

- Il Premio "Giovanni Polvani" va alla Dr.ssa Maria Valentina CARLUCCI, laureata in Fisica presso l'Università di Bari.

- Il Premio "Orso Mario Corbino" va al Dr. Roberto DI NARDO, laureato in Fisica presso l'Università di Roma Tor Vergata.

- Il Premio "Augusto Righi" va al Dr. Francesco PANDOLFI, laureato in Fisica presso l'Università di Roma La Sapienza.

- Il Premio "Giuseppe Franco Bassani" va al Dr. Giovanni PIZZI, laureato in Fisica presso l'Università di Pisa.

- Il Premio "Gilberto Bernardini" va al Dr. Ennio FALVIONI, laureato in Fisica presso l'Università di Padova.

I premi riservati ai dottori in Fisica laureatisi dopo il Maggio 2003 sono due, sponsorizzati dalla Fondazione Marino Golinelli e da Physik Instrumente, e sono stati attribuiti come segue.

- Il Premio "Quirino Majorana" va al Dr. Fabio PEZZOLI, laureato in Fisica presso l'Università di Milano Bicocca.

- Il Premio "Carlo Castagnoli", va al Dr. Antonio POLITANO, laureato in Fisica presso l'Università della Calabria.

Quest'anno abbiamo istituito un altro premio per i giovani, intitolato a Giuliano Preparata e assegnato per la Fisica Teorica. Il premio si deve al contributo dell'Associazione per la Fondazione Giuliano Preparata. Consegna il premio la Dr.ssa Emila Campochiaro Preparata. Il Premio "Giuliano Preparata" va al Dr. Francesco SANTONI, laureato in Fisica presso l'Università di Perugia.

Passiamo al Premio "Luigi Giulotto" per la Struttura della Materia, che si assegna grazie al contributo della famiglia. Il Premio è stato attribuito alla Dr.ssa Eleonora NAGALI, laureata in Fisica presso l'Università di Roma La Sapienza, "per il significativo contributo dato alle ricerche relative al controllo e alla manipolazione di stati quantistici codificati nel momento angolare orbitale, con importanti riflessi sulla trasmissione dell'informazione mediante *bit* quantistici".

La Borsa "Ettore Pancini" per la Fisica Nucleare e Subnucleare Sperimentale, che si deve al contributo del Dr. Roberto Mazzola del CNR di Napoli, quest'anno va al Dr. Cristian MASSIMI del'Università di Bologna, "per il suo contributo originale nella misura su oro di sezioni d'urto di cattura neutronica con l'esperimento n-ToF, di grande interesse per l'Astrofisica Nucleare e per le tecnologie dei reattori nucleari di IV generazione".

Abbiamo poi un premio che la Società Laser Optronic offre con cadenza biennale per studi in Optoelettronica o Fotonica, il Premio "Sergio Panizza". Quest'anno il premio non avrebbe dovuto essere attribuito, ma essendo il 2010 l'anno in cui si festeggiano "cinquant'anni di laser", abbiamo chiesto alla Laser Optronic di anticipare il premio dell'anno venturo. Il premio, consegnato dal Dr. Gabriele Galimberti, va al Dr. Dario PISIGNANO, laureato in Fisica presso l'Università di Pisa, "per i risultati conseguiti e il grado d'innovazione ottenuto nel campo delle nanofibre attive a emissione di luce".

Altre novità introdotte quest'anno dalla SIF sono il Premio per le Applicazioni Industriali e

il Premio per l'*Outreach*, ossia per la diffusione della cultura scientifica.

Ho il piacere di annunciare che il Premio per le Applicazioni Industriali, che viene assegnato per la prima volta qui a Bologna, è stato intitolato a Guglielmo Marconi. Primo vincitore di questo Premio per le Applicazioni Industriali "Guglielmo Marconi" è il Professor Mauro MARINELLI dell'Università di Genova, "per l'invenzione del suscettometro *Magnetic Iron Detector* (MID) e le sue rilevanti applicazioni in campo biomedico". Il premio è stato sponsorizzato da Caen e dai Laboratori Guglielmo Marconi.

Il Premio per l'*Outreach* è stato attribuito al Dr. Paolo POLITI dell'Istituto di Sistemi Complessi del CNR di Firenze, "per aver contribuito in maniera determinante a introdurre e sviluppare in Italia i "Caffè Scienza", un'efficace e vivace modalità di diffusione della cultura scientifica".

Veniamo ora a un ormai tradizionale premio della Società Italiana di Fisica, il Premio per la Didattica o la Storia della Fisica. Quest'anno il premio è stato assegnato per la Didattica della Fisica alla Professoressa Josette IMMÈ dell'Università di Catania, "per il suo pluriennale e determinante impegno su scala nazionale nel Progetto Lauree Scientifiche per la disciplina Fisica".

J. Immè: Ringrazio il Presidente, ringrazio il Consiglio di Presidenza per questo premio che mi onora. Voglio precisare che è un riconoscimento che va a tutta la squadra del Progetto Lauree Scientifiche e in particolare ai promotori, che sono i nostri colleghi Enrico Predazzi e Nicola Vittorio, e anche ovviamente ai referenti dei trentacinque progetti locali che mi pregio di coordinare, per cui devolverò il premio a supporto del coordinamento del Progetto Lauree Scientifiche, grazie.

L. Cifarelli: Passiamo adesso al premio intitolato a Giuseppe (Beppo) Occhialini. Il Premio "Giuseppe Occhialini" è stato congiuntamente istituito dalla Società di Fisica Britannica (IOP, *Institute of Physics*) e dalla Società Italiana di Fisica (SIF) nel 2007, in occasione del centenario della nascita di Occhialini, allo scopo di commemorare la figura di questo grande scienziato e di consolidare i rapporti tra le due Società. Il premio è annuale e viene alternativamente attribuito da una delle due Società a un fisico selezionato a partire da una lista di candidati proposta dall'altra.

The Giuseppe (Beppo) Occhialini Prize was jointly established in 2007 by the British and Italian Physical Societies, namely (IOP, Institute of Physics) and Società Italiana di Fisica (SIF), as a memorial to Occhialini, on the occasion of the centenary of his birth. The award is intended both to commemorate the name of the eminent physicist and to cement the relationship between the two institutions. The award is annual and made alternately by one of the two Societies to a physicist selected from a list of nominees submitted by the other.

Quest'anno, il vincitore è stato scelto dall'*Institute of Physics*. *I would like to ask Dr. Robert Kirby-Harris, Executive Director of IOP, to announce the winner of the 2010 "Occhialini" Prize.*

R.K. Harris: *The winner of the 2010 "Occhialini" Prize has been selected by the Award Committee of IOP from a list of nominees submitted by the Council of SIF. The prize will be presented to the winner at the 2010 IOP Awards Dinner in London on the 30th of September.*

Il Premio sarà conferito al Professore Ignazio CIUFOLINI del Dipartimento di Ingegneria dell'Innovazione, Università del Salento, Lecce, "per aver dato un ulteriore conferma della teoria della Relatività Generale di Einstein mediante l'uso di satelliti inseguiti via laser per lo studio del fenomeno relativistico del *frame-dragging*, ossia del trascinamento dei sistemi di riferimento inerziali".

L. Cifarelli: Arriviamo ora alla consegna del Premio "Enrico Fermi" della Società Italiana di Fisica. Questo premio è stato istituito nel 2001, grazie all'iniziativa dell'allora Presidente Giuseppe Franco Bassani, in occasione del centenario della nascita di Enrico Fermi per onorarne la memoria e legare il suo nome a quello della Società Italiana di Fisica. Il premio è assegnato a uno o più Soci che abbiano onorato la Fisica, e in particolare la Fisica italiana, con le loro scoperte. Il premio è selezionato da una commissione da me presieduta e costituita da un membro in rappresentanza del Consiglio della Società Italiana di Fisica, da un membro per l'Accademia Nazionale dei Lincei, uno per il CNR, uno per l'INFN, uno per l'INAF e infine uno per il Centro Fermi.

Nel 2010 il Premio "Enrico Fermi" della Società Italiana di Fisica è stato assegnato per metà all'Astrofisica e per metà alla Fisica Nucleare.

Per l'Astrofisica, il premio è stato congiuntamente attribuito al Dottor Enrico COSTA, dell'Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica dell'INAF di Roma, e al Professor Filippo FRONTERA, dell'Università di Ferrara, "per la scoperta dell'*afterglow-X* dei *Gamma Ray Burst* (GRB), ossia della post-luminescenza di tipo X dei lampi gamma, con il satellite BeppoSAX."

Per la Fisica Nucleare, il premio è stato attribuito al Professor Francesco IACHELLO della *Yale University, New Haven, Connecticut*, USA, "per il suo contributo alla teoria dei nuclei atomici e, in particolare, per la scoperta di una ricca varietà di simmetrie dinamiche e supersimmetrie."

Vorrei dare la parola al Professor Frontera e subito dopo al Dottor Costa per una breve presentazione delle ricerche alla base della loro premiazione, e poi al Professor Iachello.

F. Frontera: Sono onorato e anche commosso di ricevere questo prestigioso premio della Società Italiana di Fisica legato alla memoria di Enrico Fermi. Credo infatti che la nostra scoperta si collega idealmente a quella scuola. Infatti l'Astronomia X trae origine dall'interesse per lo studio dei Raggi Cosmici (RC) dei maggiori fisici italiani a partire da Fermi: Edoardo Amaldi, Giuseppe (Beppo) Occhialini, Bruno Rossi, Giampietro Puppi. Fu appunto Rossi ad inaugurare l'Astronomia X nel 1962, scoprendo la prima sorgente celeste di raggi X. La missione SAX (dopo il lancio BeppoSAX in memoria di Occhialini), di cui io e Costa fummo tra i proponenti, fu il compendio di ricerche sperimentali in astrofisica in raggi X duri (>20 keV) fatte in Italia specie con palloni stratosferici. Vi rammento il comitato di saggi che nel 1982 selezionò SAX: Amaldi, Occhialini, Rossi, Giancarlo Setti, qui presente, e Lodewijk Woltjer. Questo premio dà ragione alla loro scelta e lungimiranza.

La nostra scoperta riguarda la soluzione dell'enigma, durato circa 30 anni, sull'origine dei *Gamma Ray Burst* (GRB; in italiano, lampi di raggi gamma). I GRB sono improvvisi *flash* di radiazione gamma, di durata dalle decine di ms fino a centinaia di secondi, che arrivano sulla nostra atmosfera a un ritmo di 2-3 al giorno, con direzioni e tempi di arrivo imprevedibili. La scoperta fu fatta alla fine degli anni '60 coi satelliti spia americani "Vela", che monitoravano il territorio dell'Unione Sovietica, per verificare il rispetto del trattato di divieto dei test nucleari in atmosfera. La scoperta di questi eventi, di sicura origine extraterrestre, fu pubblicata nel 1973. Ma chi erano i loro progenitori? Stelle normali? Oggetti compatti? Comete? Mezzo interstellare? E i loro siti di produzione? Locali? Galattici? Extragalattici?

Per rispondere a queste domande, bisognava localizzare accuratamente questi eventi e vedere se c'era una possibile controparte a lunghezze d'onda maggiori (X, ottico, radio). Purtroppo, nella banda dei raggi gamma, i singoli rilevatori non sono dei buoni localizzatori. Sfruttando rivelatori a bordo di più satelliti, dal ritardo dell'evento tra i vari satelliti, si riusciva a localizzarlo accuratamente, ma ciò richiedeva molto tempo (anche mesi).

Fino alla scoperta di BeppoSAX, nessuna controparte fu trovata. Il maggiore sforzo della NASA fu l'esperimento BATSE (*Burst And Transient Source Experiment*) lanciato nel 1991 a bordo del satellite *"Compton" Gamma Ray Observatory*. In 9 anni di osservazione non si riuscì a identificare alcuna controparte, ma si stabilì che i GRB sono distribuiti isotropicamente, ma non omogeneamente in profondità. Ciò poteva essere un indizio di origine cosmologica, ma era anche compatibile

Ignazio Ciufolini, vincitore del Premio "Giuseppe Occhialini" 2010.

Luisa Cifarelli con Enrico Costa e Filippo Frontera, vincitori del Premio "Enrico Fermi" 2010.

con un'origine locale o nell'alone della nostra Galassia.

Ed ecco BeppoSAX. In soli sei mesi dal lancio, nel 1997 abbiamo potuto stabilire che i GRB sono immense esplosioni in galassie a distanza cosmologica. Ma, come mai BeppoSAX poté sciogliere l'enigma? Infatti esso era nato non per studiare i GRB, ma le sorgenti celesti in 0.1–200 keV e per monitorare la variabilità delle sorgenti X, in particolare il piano Galattico, in 2–30 keV.

BeppoSAX aveva a bordo tre strumenti a campo stretto (*Narror Field Instruments*, NFI) e due camere X con campo di vista di 20°×20° (*Wide Field Cameras*, WFC), orientate in direzioni opposte e a 90° dall'asse comune degli NFI. Le WFC erano contatori proporzionali sormontati da un sistema di maschere codificate, che consentivano di fare *imaging* del cielo con una risoluzione angolare di 3–4 arcmin.

Gli NFI comprendevano un set di 4 telescopi focalizzanti sensibili alla banda 0.1–10 keV, un contatore proporzionale a gas scintillante in 3-60 keV, e un set di 4 unità *phoswich* (PDS, *Phoswich Detector System*) per la banda 15–200 keV. Io ero responsabile del PDS.

Durante lo studio di fase A di BeppoSAX (1983), proposi che gli schermi di anticoincidenza del PDS (4 rivelatori a scintillazione indipendenti e completamente aperti) fossero utilizzati come *monitor* di GRB (GRBM) nella banda 40–700 keV. In questa banda non solo si potevano identificare i GRB, ma due unità GRBM erano orientate come le WFC. Nella banda WFC non era possibile identificare i GRB tra i vari eventi X transienti che popolano il cielo X. In compenso, le WFC fornivano un'accurata determinazione della direzione di arrivo dei GRB identificati.

Studiai un progetto del GRBM (catene elettroniche, *trigger* in caso di transienti, dati da trasmettere a terra, *housekeeping*) che fu approvato dal Consorzio SAX nel 1990. Si realizzò anche un prototipo. Sotto la mia supervisione, il modello di volo fu realizzato da Laben e calibrato, una volta integrato nel satellite, da un *team* guidato da Costa.

Lanciato BeppoSAX il 30 aprile '96, fu fatta una fase di verifica scientifica da luglio a settembre '96. Durante tale periodo si poté verificare la funzionalità del GRBM e scoprire che un GRB era anche visto da una WFC. Dopo circa un mese dall'evento, fu stabilita la sua direzione e puntati gli NFI, molto più sensibili, nella direzione trovata: nessuna controparte X.

Due erano le possibilità: non c'erano controparte X associate ai GRB, oppure queste si spegnevano rapidamente. Mettemmo a punto una strategia per accelerare il puntamento degli NFI, compatibilmente col fatto che i dati erano scaricati a terra una volta per orbita (100 min): un'analisi immediata dei dati GRBM per ogni *trigger*, una validazione umana dell'evento indicato dal *trigger*, un'analisi dei dati WFC in corrispondenza degli eventi identificati, un puntamento immediato degli NFI nella direzione data da WFC.

La strategia fu approvata e divenne operativa nel gennaio 1997. Il primo evento localizzato (11 gennaio '97, GRB970111) non mostrò alcuna controparte X. Col secondo evento invece (28 febbraio '97, GRB970228) scoprimmo una sorgente X sconosciuta che andava rapidamente spegnendosi: 3 giorni dopo era quasi scomparsa. Avevamo scoperto l'afterglow dei GRB. La storia continua con Enrico Costa.

E. Costa: Era improbabile che una sorgente a questo livello, assente dai cataloghi, fosse lì per caso. Puntandola di nuovo abbiamo trovato che andava decadendo seguendo una legge di potenza. Una legge di potenza descriveva anche la distribuzione spettrale: non si trattava della emissione termica di un plasma, ma più verosimilmente l'emissione non termica di una esplosione. Avevamo trovato l'emissione ritardata del GRB (*afterglow* in inglese), che ci permetteva di localizzare il GRB con la precisione di un minuto d'arco. Per migliorare ulteriormente chiedemmo il ripuntamento del telescopio X tedesco ROSAT, dotato della migliore risoluzione angolare all'epoca. La sorgente continuava a decadere e la localizzazione scese a 5 secondi d'arco.

Ma soprattutto la precisione e la rapidità con cui BeppoSAX ricavava le coordinate del GRB, permettevano, dopo anni di tentativi, di puntare, in ottico e in radio, anche grandi telescopi, con un piccolo campo di vista. Il primo a ripuntare lo stesso campo due volte ad alcuni giorni di distanza fu l'olandese Jan van Paradijs, che scoprì una sorgente ottica molto debole che andava affievolendosi con una legge simile a quella trovata da SAX. Lo Hubble, con la risoluzione della frazione del secondo d'arco, vide una leggera nebulosità, forse una galassia, che includeva la sorgente. La scoperta delle controparti dei GRB è quindi una sorta di scala in cui si passa da un segnale fortissimo con il GRBM, con la localizzazione su decine di gradi, ad una localizzazione X del minuto d'arco, con WFC e NFI, per arrivare in ottico a oggetti molto deboli all'interno di galassie di magnitudine 23–25 per le quali si richiede il secondo d'arco o meno. Ad ogni passaggio l'identificazione della sorgente con quella della banda precedente è garantita dal fatto che la sorgente è all'interno dell'intervallo di confidenza della precedente e che entrambi decadono nello stesso modo.

Nel maggio del 1997 localizzammo un altro GRB e chiedemmo il puntamento del telescopio più grande del mondo, il Keck, che trovò delle righe di assorbimento spostate verso il rosso, ciò che permise la misura della distanza, chiarendo, una volta per tutte, che i GRB sono extragalattici, e fissando, di conseguenza, la scala dell'energia. Assumendo un'emissione isotropa questa era di 10^{52} erg, numero sorprendente, considerato che una grande parte dell'energia dovrebbe finire

Francesco Iachello, vincitore del Premio "Enrico Fermi" 2010.

in onde gravitazionali e neutrini. Tre ore e mezzo dopo che il GRB era stato rivelato da BeppoSAX, l'interferometro VLA di Socorro, il più grande strumento astronomico del mondo, lo puntava trovandone la controparte radio e osservando per i primi 70 giorni quel fenomeno che i radioastronomi chiamano scintillazione, legato alle dimensioni angolari molto piccole della sorgente. Dalla durata della scintillazione e dalla distanza si può ricavare la velocità di espansione della sorgente: si trova una velocità apparente superiore a c, fenomenologia caratteristica di sorgenti che si espandono a velocità vicine a quelle della luce e prova diretta di un'esplosione di altissima energia.

La risonanza di questa scoperta, si può valutare dall'impatto sugli esperimenti successivi. Poco dopo i risultati di BeppoSAX ci fu un bando della NASA per un nuovo satellite e, tra le tante proposte, fu selezionato SWIFT, un satellite dedicato ai GRB, cui l'Italia partecipa con il telescopio in raggi X. SWIFT ancorché più moderno e tutto automatizzato, segue molto da vicino lo schema di BeppoSAX. Molti telescopi da terra sono stati adattati per poter ripuntare rapidamente i *Gamma Burst*, alcuni sono completamente robotici, e costruiti apposta per questi studi.

Dal punto di vista dei riconoscimenti, ne avevamo avuti già altri due importanti, uno dalla *American Astronomical Society* ed uno dalla Commissione Europea, estesi al contributo dei vari gruppi. Con questo premio, tipicamente orientato su un numero molto più ristretto di ricercatori, la SIF ha enucleato le persone che hanno portato avanti questa ricerca sulla scala di molti anni, ma questo niente toglie al fatto che certi risultati sono il frutto del lavoro di gruppo e del contributo di più gruppi.

Dopo l'emissione ritardata molti altri risultati sono stati trovati a partire da BeppoSAX: tra questi l'associazione dei GRB con le Supernovae e la relazione energia di picco ed energia isotropica del *burst*, che apre la strada all'uso dei GRB come strumento di cosmologia. Sono seguiti i risultati di altre missioni come HETE-2, SWIFT, AGILE e Fermi, quali la identificazione dei GRB brevi, di improvvise riaccensioni tra l'emissione pronta e quella ritardata, delle emissioni da 100 MeV ai GeV. L'oggetto più lontano di cui conosciamo la distanza è un *Gamma Burst* a *red shift* di 8.1. Si sono trovate energie pari a quello che una massa intera di sole convertito in fotoni X e gamma e si è studiata molto meglio il rapporto con le Supernovae.

I GRB possono essere strumento per ricerche ancora più ambiziose? L'aspettativa o, magari, la velleità è quella di farne sonde per studi di Fisica Fondamentale. Ad esempio, un doppio collasso potrebbe permettere di verificare se questi oggetti, nel passaggio a buco nero, passano per uno stato di *Quark-Gluon Plasma*. Essendo oggetti lontani e luminosi, potrebbero evidenziare tutti quegli effetti di Fisica Fondamentale, che hanno a che fare con la propagazione su scala cosmologica. Per esempio le teorie di *Quantum Gravity* di Stringa prevedono un ritardo in funzione dell'energia proporzionale alla distanza; le teorie di *Loop* invece prevedono una rotazione dell'angolo di polarizzazione col quadrato dell'energia e con la distanza.

Per quanto riguarda l'impatto sulla comunità italiana, c'è molto lavoro su osservazioni coordinate ed abbiamo una delle comunità più attive nel mondo per analisi dati, interpretazioni e teorie. Ma la cosa più importante, lo dico da sperimentale, è la partecipazione ad esperimenti come SWIFT, AGILE e GLAST/Fermi e quelli che speriamo di mettere in cantiere per il futuro.

L. Cifarelli: Grazie infinite, vorrei adesso chiamare il Professor Francesco Iachello.

F. Iachello: Accetto con grande piacere questo premio, sia perché intitolato a Enrico Fermi, il più famoso fisico nucleare di sempre, sia perché mi viene dato in Italia e per giunta dalla Società Italiana di Fisica, una delle Società di Fisica più prestigiose del mondo. Avendo ricevuto premi in molti altri paesi, questo mi fa particolarmente piacere perché l'Italia è il paese dove sono nato e cresciuto e dove ho imparato ad amare la Fisica, prima quella classica al Politecnico di Torino da Eligio Perucca e Francesca De Michelis e poi quella moderna alla Università di Torino da Sergio Fubini e Tullio Regge.

Nel corso dei prossimi dieci minuti cercherò di illustrare brevemente quale è stato il mio contributo alla Fisica. In poche parole: ho introdotto modelli di sistemi fisici basati sul concetto di simmetria, e così facendo, ho scoperto una grande varietà di simmetrie dinamiche in sistemi complessi, in particolare nei nuclei atomici (modello a bosoni interagenti) e nelle molecole (modello a vibroni).

Il modello a bosoni interagenti, da me introdotto nel 1974 e sviluppato con Akito Arima della Università di Tokyo in Giappone negli anni seguenti 1974–1980, è un modello dei nuclei con numero pari di protoni e neutroni in termini di coppie correlate di nucleoni con momento angolare J=0 e 2. Queste coppie sono simili alle coppie di Cooper del gas di elettroni e, come in quel caso, sono trattate come bosoni. Le coppie interagiscono tra di loro, da cui il nome *Interacting Boson Model* dato a questo modello.

Uno degli aspetti del modello a bosoni interagenti è l'insieme delle sue simmetrie dinamiche. La simmetria è un concetto fondamentale della fisica moderna. Introdotto originariamente nell'arte per descrivere le proprietà di certi artifatti (Vitruvio dice: "Simmetria risulta da proporzione Proporzione è la commensurazione delle varie parti costituenti con l'intero"), assunse un ruolo importante nella descrizione della Natura nel V secolo a.C. con l'introduzione della Geometria attraverso i cinque corpi regolari (poliedri) e alla associazione di essi con i costituenti dell'Universo: fuoco (tetra-), aria (octa-), terra (cubo), acqua (isoca-) e lo stesso Universo (pentadodecaedro) (Platone, Timeo, 55C). Il concetto fu ulteriormente sviluppato durante il Rinascimento italiano da Piero della Francesca, Luca Pacioli e altri e divenne così importante che nel 1595 Keplero affermò che il sistema planetario (conosciuto allora), Saturno, Giove, Terra, Venere e Mercurio può essere ridotto al moto di corpi regolari.

L'idea che la simmetria ha un ruolo fondamentale anche in Fisica divenne appararente mano a mano che si passò dalla

descrizione dei fenomeni macroscopici a quelli microscopici. Il concetto di simmetria è oggi usato in Fisica in molti modi: (1) simmetria geometrica; (2) simmetria di permutazione; (3) simmetria dello spazio-tempo; (4) simmetria di "*gauge*"; (5) simmetria dinamica, o simmetria delle interazioni. Questo ultimo tipo di simmetria fu introdotto implicitamente da Wolfgang Pauli nel 1926 nel descrivere lo spettro dell'atomo di idrogeno. Pauli notò che l'operatore Hamiltoniano che descrive l'atomo di idrogeno è invariante per rispetto a trasformazioni più grandi delle rotazioni, cioè le trasformazioni di Runge-Lenz che formano il gruppo *SO*(4). Esso fu rintrodotto da Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman nel 1961 nel descrivere gli spettri degli adroni (simmetria di sapore, *SU*(3)) e finalmente da me ed Arima nel 1974 nel descrivere gli spettri dei nuclei atomici (simmetria *U*(6)). Il modello a bosoni interagenti prevede la presenza di tre rotture diagonali di *U*(6), caratterizzate dai gruppi *U*(5), *SU*(3) e *SO*(6). Tutte e tre queste simmetrie furono scoperte negli anni 1978–1980, nei nuclei di Cadmio, Gadolinio e Platino, rispettivamente, da Richard Casten e altri.

Il modello a vibroni, da me introdotto nel 1980, è un modello delle molecole in termini di quanti di eccitazione detti "vibroni". Questo modello ha avuto molte applicazioni in Chimica-Fisica ma non lo descriverò qui visto che è più di pertinenza alla Chimica che alla Fisica.

Invece dirò che nel 1978 allargai l'applicabilità del modello a bosoni interagenti ai nuclei con un numero dispari di nucleoni, dove almeno un nucleone è disaccoppiato introducendo il modello a bosoni e fermioni interagenti, in cui, insieme alle coppie (bosoni) sono presenti anche uno o più nucleoni disaccoppiati (fermioni) (*Interacting Boson-Fermion Model*). La questione sorse se esistono simmetrie di questo sistema misto di bosoni e fermioni. Questa questione era stata nel frattempo affrontata per applicazioni alla Fisica delle particelle da Julius Wess, Bruno Zumino e altri (1974). Anche questo nuovo concetto di simmetria, detto supersimmetria, è usato oggi in vari modi: (1) supersimmetria spazio-tempo; (2) supersimmetria di "*gauge*"; (3) supersimmetria dinamica, questa ultima da me introdotta nel 1978. Infatti, uno degli aspetti fondamentali del modello a bosoni e fermioni interagenti è l'insieme delle sue supersimmetrie. Nel 1980, io suggerii che l'operatore Hamiltoniano che descrive il modello a bosoni e fermioni interagenti (dopo avere sottratto il contributo che viene dalle masse dei nucleoni) appare essere invariante per rispetto a trasformazioni di bosoni in fermioni e viceversa, nello stesso modo in cui la Lagrangiana di Wess e Zumino è invariante per rispetto allo scambio del campo bosonico con quello fermionico. Le supersimmetrie da me suggerite (in cui fermioni con momento angolare J=3/2, insieme a bosoni con momento angolare J=0,2 formano i *partner* supersimmetrici) furono osservate negli spettri dei nuclei di Osmio e Iridio negli anni 1980-82. Negli ultimi anni, in molti esperimenti in vari laboratori del mondo, in particolare nel laboratorio della *Ludwig-Maximilians Universität* di Monaco di Baviera, Germania, la presenza di questo tipo di supersimmetria è stata confermata nei nuclei di Oro e di Platino da Jan Jolie, Gerhard Graw e altri.

Le supersimmetrie osservate nei nuclei differiscono da quelle cercate nella Fisica delle particelle per due ragioni. Le supersimmetrie nei nuclei sono globali, cioè come le simmetrie di sapore, mentre quelle cercate nella Fisica delle particelle sono locali, supersimmetrie dello spazio-tempo (superPoincarè *invariance*) e/o supersimmetrie di *gauge*. Un'altra differenza è che i bosoni nei nuclei sono particelle composte. Se i *partner* supersimmetrici (*squark*) dei *quark* sono anche essi fondamentali, allora la supersimmetria nella Fisica delle particelle è diversa da quella dei nuclei anche nella composizione dei *partner* supersimmetrici.

La scoperta della supersimmetria dinamica nei nuclei ha anche conseguenze per altri campi della fisica. Yoichiro Nambu ha usato la supersimmetria tra coppie (bosoni) e singoli (fermioni) per descrivere certe proprietà di superconduttori di tipo II e la possibilità esiste che anche i superconduttori ad alte temperature abbiano questo tipo di supersimmetria. In ambedue questi casi, come nel caso dei nuclei, i bosoni sono particelle composte. La questione perciò se esistono in Natura supersimmetrie in situazioni in cui sia i bosoni che i fermioni sono particelle fondamentali rimane aperta e si spera che sia risolta al LHC.

In conclusione, modelli simmetrici e supersimmetrici dei nuclei sono stati introdotti e le corrispondenti simmetrie e supersimmetrie dinamiche sono state scoperte. Le supersimmetrie dinamiche dei nuclei sono l'unico esempio a tutt'oggi di questo tipo insolito di simmetria osservato sperimentalmente. La scoperta delle simmetrie e supersimmetrie dinamiche dei nuclei è stata di fondamentale importanza nel programma "semplicità nella complessità", e cioè nella realizzazione che anche i sistemi complessi possono organizzarsi in una struttura semplice. Come diceva il famoso fisico-matematico tedesco Hermann Weyl, "la Natura ama la simmetria". Nello studio delle simmetrie e supersimmetrie un ruolo importante è quello dello sviluppo di metodi algebrici basati sulle algebre di Lie e sulle sue generalizzazioni graduate (superalgebre) da me fatto e detto "*Algebraic method*". Parafrasando Galileo Galilei: "La Fisica è la descrizione della Natura e la Matematica è il suo linguaggio".

Ringrazio la Presidentessa della Società Italiana di Fisica, Luisa Cifarelli, e il comitato di selezione del Premio "Enrico Fermi" per avere voluto premiare me e, con me, tutte le persone che hanno collaborato in Italia e nel mondo in questa ricerca del ruolo delle simmetrie e supersimmetrie nei sistemi complessi.

L. Cifarelli: Nel ringraziare gli illustri premiati, nel ringraziare i nostri padroni di casa, nel ringraziare i membri del Comitato Organizzatore del Congresso e in particolare il Segretario, Professor Gianni Vannini, che vedo qui in prima fila, e nel ringraziare poi tutti gli Enti, le Istituzioni e le Ditte che con il loro patrocinio e il loro contributo hanno reso possibile questo Congresso, dichiaro ufficialmente aperto il XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica.

Rolf Dieter Heuer.

Antonino Zichichi.

50 ANNI DI LASER
TAVOLA ROTONDA AL XCVI CONGRESSO NAZIONALE DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

GIANCARLO C. RIGHINI[1]

Istituto di Fisica Applicata "Nello Carrara", CNR, Sesto Fiorentino (FI), Italia

Partecipanti alla tavola rotonda (da sinistra a destra): D. Batani, S. Martellucci, V. De Giorgio, O. Svelto, L. Cifarelli, S. Pelli, L. Masotti e L. Palumbo.

Il 16 maggio 1960, nei laboratori di ricerca della Hughes, in California, Theodore H. Maiman accese il primo laser della storia: si trattava di un laser a rubino, in cui l'eccitazione degli atomi di cromo presenti nel rubino avveniva grazie ad una lampada flash (pompaggio ottico). Questa dimostrazione del funzionamento di un laser costituiva il punto di arrivo di una serie di intuizioni e di studi teorici che avevano avuto inizio con l'ipotesi dell'emissione stimolata formulata da Albert Einstein nel 1916, erano proseguiti con l'invenzione del MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) da parte di Charles H. Townes nel 1951, ed avevano portato Townes ed il suo studente James Gordon a dimostrare sperimentalmente il primo maser (con emissione coerente di radiazione a microonde) nel 1954. Townes, insieme ad Arthur L. Schawlow, nel 1958 aveva poi pubblicato su "Physical Review" la proposta di un "maser ottico", ma sarebbe stato invece Maiman a dimostrarne per primo la fattibilità sperimentale, battendo sul tempo anche Ali Javan che, presso i Bell Labs, lavorava sullo sviluppo di un laser a gas ed avrebbe acceso il primo laser a He-Ne soltanto il 12 dicembre 1960.

Nel frattempo anche altri gruppi lavoravano sugli sviluppi dei maser ottici; tra questi, Gordon Gould, allora studente di dottorato, che aveva anche avuto alcuni incontri con Townes, e che nel novembre 1957 aveva scritto sul suo quaderno di laboratorio alcuni appunti fondamentali riguardo all'uso di una cavità Fabry-Pérot come risonatore ed alla necessaria qualità degli specchi. Tra l'altro, è proprio nei quaderni di Gould che viene usata per la prima volta la sigla LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Le attività di questi protagonisti della storia iniziale del laser ebbero riconoscimenti abbastanza diversi: Townes ricevette il premio Nobel per la Fisica nel 1964, insieme a Nikolay G. Basov e Alexander M. Prokhorov (i cui lavori erano stati meno pubblicizzati in Occidente a causa della situazione politica e della pubblicazione su riviste russe), con la specifica motivazione "lavori fondamentali nel campo dell'elettronica quantistica che hanno portato alla costruzione di oscillatori e amplificatori basati sul principio maser-laser". Schawlow ricevette il premio Nobel per la Fisica nel 1981 (insieme a Nicolaas Bloembergen e Kai Siegbahn) per lo sviluppo della spettroscopia laser. Gould si dedicò soprattutto a difendere la priorità dei suoi brevetti sul laser, dimostrata dai quaderni di laboratorio, e dopo trent'anni di guerre legali riuscì ad uscirne vincitore e diventò miliardario. Maiman, invece, fu nominato almeno tre volte per il premio Nobel, ma non ne fu mai insignito.

Tra l'altro, anche la diffusione della notizia sulla dimostrazione del laser da parte di Maiman non fu senza difficoltà: il lavoro che descriveva il funzionamento del laser a rubino fu rifiutato da "Physical Review Letters", e Maiman ripiegò su una breve descrizione dell'esperimento, che fu invece accettata su Nature [1].

[1] giancarlo.righini@cnr.it

(a) (b)

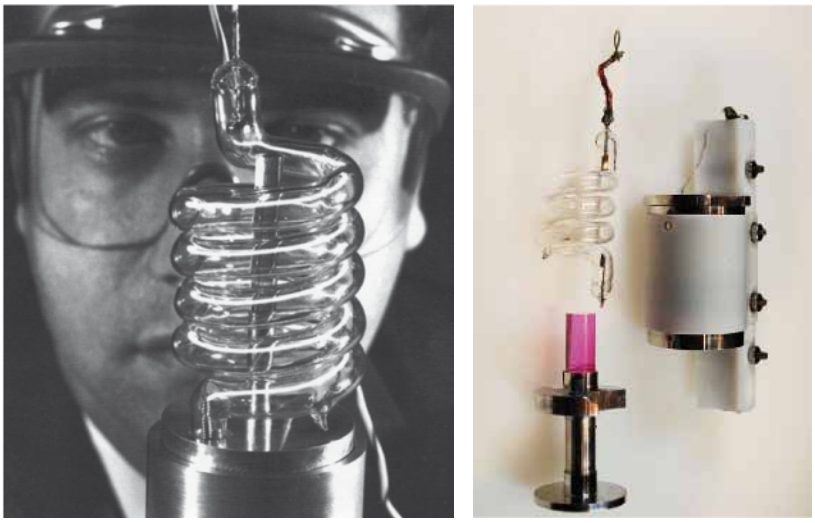


Fig. 1 (a) Una delle foto distribuite nella conferenza stampa di luglio 1960. Il laser in primo piano, davanti a Maiman, impiega una barretta cilindrica di rubino piuttosto lunga. (b) I componenti del primo laser funzionante. È evidente che sia la lampada flash che la barretta di rubino sono più corte rispetto a quanto mostrato nella foto precedente.

Dopo il rifiuto del lavoro da parte di PRL, la Hughes decise di organizzare una conferenza stampa a New York il 7 luglio 1960 per presentare il primo laser a rubino, e qui si verificò un caso fortunato per gli altri ricercatori interessati allo sviluppo del laser. Per motivi di riuscita fotografica, la foto distribuita alla stampa (fig. 1a) mostrava Maiman con un laser che in realtà non era il vero primo laser (fig. 1b); come si vede chiaramente, il laser mostrato alla stampa era di dimensioni decisamente maggiori. Questa configurazione, in realtà, era più efficiente di quella originale, e così i gruppi di Gould alla TRG Inc. e di Schawlow ai Bell Labs, che si basarono sulla foto pubblicata, furono in grado di accendere i loro laser a rubino dopo solo qualche settimana dalla conferenza stampa.
Questo ed altri aneddoti sono stati ricordati da Orazio Svelto nell'intervento che ha aperto la Tavola Rotonda organizzata dalla Società Italiana di Fisica in occasione del suo XCVI Congresso Nazionale e coordinata dal Presidente della SIF, Luisa Cifarelli. La Tavola Rotonda ha visto gli interventi di scienziati e tecnici che sono stati tra i protagonisti delle principali iniziative che hanno caratterizzato lo sviluppo scientifico e industriale del laser in Italia e che guidano le sfide scientifico-tecnologiche legate allo sviluppo delle nuove sorgenti di radiazione coerente: oltre ad Orazio Svelto, Vittorio Degiorgio, Sergio Martellucci, Leonardo Masotti, Luigi Palumbo e Dimitri Batani [2].

L'evento, in collaborazione con la Società Italiana di Ottica e Fotonica, ha rappresentato il contributo della SIF a Laserfest [3], la manifestazione internazionale promossa da varie Associazioni Scientifiche, tra cui in primis APS (American Physical Society), OSA (Optical Society of America), SPIE ed IEEE Photonics Society, per celebrare il 50° anniversario della dimostrazione del laser. In tutto il mondo sono stati organizzati eventi, sia a livello scientifico che a livello divulgativo, per spiegare come funziona un laser, quale è stata la storia del suo sviluppo, il suo impatto sulla società odierna, e qual è il potenziale del laser nel futuro.

Che cosa è il laser oggi ? È tuttora uno strumento scientifico di grandissima rilevanza (basta pensare alla spettroscopia atomica e molecolare, all'ottica non lineare, al raffreddamento laser degli atomi, alla criptografia quantistica…), ma è anche un componente indispensabile nella vita di ogni giorno: dai lettori di codici a barre nei supermercati ai lettori di CD, DVD, BD (o Blu-ray), ai sistemi di controllo della velocità delle auto (autovelox), fino ai sistemi laser per la medicina e chirurgia, specialmente oculistica; inoltre, l'attuale sistema telefonico ed internet non avrebbero potuto essere realizzati senza i laser e le fibre ottiche (al cui sviluppo, per inciso, è legata l'assegnazione del premio Nobel per la fisica nel 2009 a Charles K. Kao).

Tornando alla Tavola Rotonda, Svelto, Degiorgio e Martellucci hanno ricordato i primi passi del laser in Italia, che furono guidati da Daniele Sette (Fondazione Bordoni e Università di Roma), Giuliano Toraldo di Francia (Università di Firenze e Centro Microonde, poi IROE ed oggi IFAC), ed Emilio Gatti (Politecnico di Milano e Laboratori CISE). Questi tre scienziati ottennero dal CNR l'istituzione di un Gruppo di Studio nel 1962 "per lo studio dei dispositivi amplificatori di onde elettromagnetiche mediante interazione con la materia", che portò l'anno successivo (1963) all'avvio della "Impresa Maser-Laser", in pratica un progetto strategico quinquennale del CNR. I gruppi coinvolti nell'Impresa Maser-Laser furono quelli di Roma (Daniele Sette, Mario Bertolotti), di Firenze (Giuliano Toraldo di Francia, Pio Burlamacchi, Anna Consortini, Riccardo Pratesi, Laura Ronchi, Vera Russo, Anna Maria Scheggi), di Milano – Politecnico (Emilio Gatti, Orazio Svelto, Carlo Alberto Sacchi) e di Milano – CISE (Tito Arecchi, Alberto Sona, Mario Corti, Vittorio De Giorgio, Marzio Giglio). Il CNR contribuì fortemente allo sviluppo della ricerca italiana nel settore anche dopo l'Impresa Maser-Laser, attraverso la costituzione, ancora negli anni '60, del Gruppo di Ricerca Elettronica Quantistica e Plasmi (GREQP). Nel 1975 il GREQP assumeva la denominazione di Gruppo Nazionale di Elettronica Quantistica e Plasmi (GNEQP), diventando un organo del CNR con propri fondi ed un proprio direttore (all'inizio Vittorio Degiorgio, e poi, fino allo scioglimento del Gruppo negli anni '90, Giancarlo Righini). La Presidenza del GREQP prima e del Consiglio Scientifico GNEQP poi fu assunta, in ordine temporale, da Giuliano Toraldo di Francia, Pietro Caldirola, Sergio Martellucci, Aldo Cingolani, ed infine da Ida Catalano.

Con il supporto e la partecipazione del GREQP-GNEQP, nel 1974 il Comitato Scienze Fisiche del CNR autorizzava lo studio di fattibilità di un progetto di ricerca, il Progetto Finalizzato "Laser di Potenza", che fu finanziato nel quinquennio 1978-1983, ed al quale fece seguito, dal 1989 al 1993, il Progetto Finalizzato "Tecnologie Elettroottiche". Questi due progetti sono stati fondamentali nel permettere a gruppi di ricerca ed aziende italiane di mantenersi ad un livello di eccellenza internazionale.

Il periodo dal 1960 al 1980 fu, per la fisica italiana interessata all'ottica ed all'elettronica quantistica, particolarmente fervido; come ha ricordato Martellucci, accanto alle iniziative del CNR si sviluppavano anche quelle del CNRN (poi CNEN, ed infine ENEA), legate alla possibilità di un approccio laser al confinamento inerziale della fusione

nucleare ed allo sviluppo di un metodo di misura della temperatura di un plasma mediante laser scattering. Così, nei primi anni '70 ad Erice, il Centro "Ettore Majorana" presieduto da Antonino Zichichi istituì, fra le altre, la Scuola Internazionale dedicata alla "Elettronica Quantistica", che nel 2010 ha visto lo svolgimento del 48° corso.

La Tavola Rotonda, tuttavia, non si è limitata a ricordare la storia del laser nel nostro Paese; Svelto ha anche presentato il quadro di cosa sia oggi la fotonica in Italia, cioè tutto quel campo di ricerca scientifica e di applicazioni industriali che ha avuto il maggiore impulso dalla invenzione del laser:

- Un mercato di 9 miliardi di Euro (2008) (circa il 18% del mercato europeo)
- Numero di aziende: ≈ 200
- Numero di addetti: ≈ 15 000
- Università e laboratori di ricerca pubblici o privati: ≈130 unità di ricerca con ≈ 1500 addetti
- Formazione: solida tradizione nel campo dell'Ottica e della Fotonica con 280 corsi per lauree in Fisica, Ingegneria e Scienze.

Questa realtà ha giustificato la messa a punto, anche in analogia alla Piattaforma Europea Photonics21, di una Piattaforma Nazionale Tecnologica sulla Fotonica (PHORIT – Photonics Research in Italy), che è stata inserita nel Piano Nazionale della Ricerca.

L'importanza della collaborazione tra aziende ed enti di ricerca ed università per le applicazioni industriali del laser è stata testimoniata dall'intervento di Leonardo Masotti, che ha ricordato come a Firenze una iniziativa nata all'inizio degli anni '80 dai laboratori del CNR e della Facoltà di Ingegneria (quella che oggi forse si definirebbe uno spin-off) abbia portato alla realtà di un gruppo industriale high-tech nel campo dell'optoelettronica, che oggi è quotato in borsa, ha più di trenta aziende ed oltre 900 dipendenti operanti nel mondo, e che ha il suo punto di forza nei sistemi laser medicali.
I due ultimi interventi alla Tavola Rotonda hanno presentato due temi di grandissima rilevanza scientifica ed applicativa per il nostro futuro. Palumbo ha illustrato le prospettive della fisica delle nuove sorgenti coerenti, con la descrizione dello stato di sviluppo della sorgente SPARX-FEL [4]. Il progetto SPARX (Sorgente Pulsata Autoamplificata di Radiazione X) FEL (Free Electron Laser) ha lo scopo di realizzare una sorgente di luce coerente nei raggi X che copra l'intervallo di lunghezze d'onda da 0,6 a 40 nm sull'armonica fondamentale, e che sarà in grado di raggiungere la regione degli ångstrom utilizzando l'emissione dalla terza e dalla quinta armonica, dove la potenza prodotta è ancora elevata.

Batani, infine, ha parlato dell'applicazione di laser ad alta potenza ad uno dei più grandi problemi del nostro tempo nel campo dell'energia, la fusione nucleare. Il Progetto Europeo HiPER "High Power laser for Energy Research" [5], a cui per l'Italia partecipano CNISM, CNR ed ENEA, ha per obiettivo studi sulla fusione a confinamento inerziale tramite laser e la dimostrazione di fattibilità dello schema detto a "ignizione veloce" [6]. I progressi fatti in termini di materiali e di caratteristiche dei laser permettono di prevedere la dimostrazione della "proof of principle" al più tardi entro il 2012.

Dunque il laser, a 50 anni dalla nascita, è nella piena maturità, ma può riservarci ancora molte soddisfazioni e forse qualche altra sorpresa scientifica; non a caso, molti ricercatori hanno parlato del XXI secolo come il secolo del fotone, dopo che il XX secolo può giustamente essere considerato il secolo dell'elettrone.

Bibliografia

[1] T.H. Maiman, *Stimulated Optical Radiation in Ruby Masers*, Nature 187, (1960) 493.

[2] Le presentazioni dei partecipanti alla Tavola Rotonda sono disponibili sul sito web della SIF, all'indirizzo `http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/congresso/xcvi/tavola`

[3] `www.laserfest.org`

[4] `http://www.sparx-fel.it/`

[5] `http://www.hiper-laser.org/`

[6] S. Atzeni, D. Batani, L.A. Gizzi, *HiPER: un laser europeo per studi di fusione inerziale*, Il Nuovo Saggiatore, 23, no. 3-4 (2007) 64.

ASSEMBLEA DI RATIFICA DELLE ELEZIONI DELLE CARICHE SOCIALI DELLA SIF PER IL TRIENNIO 2011-2013

Il giorno venerdì 24 settembre 2010 alle ore 19:00 si sono riuniti presso l'Aula B del Complesso Belmeloro dell'Università degli Studi di Bologna i Soci della Società Italiana di Fisica per la ratifica e la proclamazione degli eletti alle cariche di Presidente e di Membro del Consiglio.

Presiede, in qualità di Presidente della Commissione Elettorale, il Dottor Angelo Maggiora.

Vengono riportati i risultati delle votazioni effettuate nei giorni 22, 23 e 24 settembre 2010:

VOTANTI	796

Voti per la Presidenza

Luisa CIFARELLI	760
Enzo DE SANCTIS	2
Alessandro BETTINI	1
Renato Angelo RICCI	1
Giorgio SALVINI	1
Marco SELVI	1
Angiolino STELLA	1
Schede bianche	19
Schede nulle	7
Schede elettorali mancanti dalla busta	3

Consiglio di Presidenza

Hanno ottenuto voti:

Alessandro BETTINI	403
Vincenzo GRASSO	336
Salvatore DE PASQUALE	296
Simonetta CROCI	290
Guido PIRAGINO	264
Enzo DE SANCTIS	191
Angiolino STELLA	143
Sergio FOCARDI	83
Roberto HABEL	66
Alberto DIASPRO	45
Enrico SERRA	11
Angelo MAGGIORA	2
Luisa CIFARELLI	1
Giancarlo GIALANELLA	1
Schede bianche	3
Schede nulle	1
Schede elettorali mancanti dalla busta	3

La maggioranza assoluta dei voti (399) è stata ottenuta dalla Professoressa Luisa Cifarelli per la carica di Presidente e dal Professor Alessandro Bettini per la carica di Membro del Consiglio.

Si passa quindi alla ratifica dei candidati per il Consiglio. Sono eletti all'unanimità Vincenzo Grasso, Salvatore De Pasquale, Simonetta Croci, Guido Piragino, Enzo De Sanctis, Angiolino Stella.

Alle ore 19:30 la seduta viene chiusa.

Il Presidente della Commissione Elettorale
Angelo Maggiora

AFRICAN PHYSICAL SOCIETY

FRANCIS K. A. ALLOTEY
Institute for Mathematical Sciences, Legon-Accra, Ghana

Africa is a vast continent second only to Asia in size. It covers an area of approximately 30.2 million square kilometers. It is made of 54 sovereign states with diverse cultures and is inhabited by about one billion people, speaking about 1000 distinct languages (not dialects). Africa is the least scientifically and technologically developed continent. This is reflected in poor medical service, poor sanitation, inadequate food supply, poor communication, infrastructure and in general poor quality of life and short life expectancy.

African leaders and governments are not unaware of the role of science and technology in the socioeconomic development of Africa. They recognize that science and technology are central to promoting economic recovery, poverty reduction, better human health, good governance and good environmental sustainability. Thus, as far back as 1980 the then organization of African Unity (OAU) now African Union (AU) launched the Lagos Plan of Action for Sustainable Socio-economic Development of Africa and requested its member states to allocate at least 1% of their GDP for science and technology in order to achieve the objectives of the plan. This target is yet to be achieved. Whereas African governments failed to implement the Lagos Plan of Action, a few international organisations, most of them outside the continent, embraced the merits of the Plan. One of such institutions is the *Abdus Salam* International Centre for Theoretical Physics (ICTP), Trieste, Italy.

ICTP was the first institution to play a crucial role in positively developing physics in Africa through human capacity development in the various areas of physics and mathematics on the continent. Enabled by the support of the Italian government, people and scientists, ICTP has helped African scientists keep active in research while staying in their home country.

ICTP operates under the umbrella of a tripartite agreement between the Italian government, the International Atomic Energy Agency (IAEA), and United Nations Educational Scientific and Cultural Organizations (UNESCO). It was imagined and created in 1964 by the late Professor Abdus Salam, a Nobel Laureate, and transformed into a reality with the help of another visionary, Professor Paulo Budinich and the generosity of the Italian government. The institutional objectives of ICTP are: to help in fostering the growth of advanced studies and research in physics and mathematical sciences, especially in the developing countries and to provide facilities to conduct original research to its visitors and fellows from the developing countries.

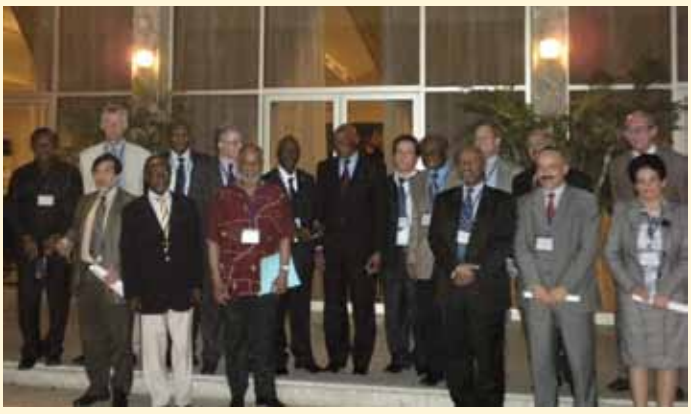
Every year about 6000 scientists visit ICTP for advanced training and research; about 600 of whom are from Africa. It also organizes several training courses, workshops and conferences in Africa. Many African physicists study and do research in Italian laboratories under ICTP's programme of Training and Research in Italian Laboratories (TRIL). There is also ICTP/ IAEA sandwich programme for PhD in physics and related areas which African physicists have benefited from, known as the Sandwich Training Educational Programme (STEP). In this programme, a student who has registered for a PhD in a University in a developing country is chosen for three visits to ICTP for a total of about 18 months, usually having a co-advisor in ICTP or in an ICTP affiliated institution. The students receive their PhD from their home institutions. The idea behind the STEP programme is to minimize brain drain, while providing opportunity for collaboration and access to top facilities.

ICTP has several affiliated centres and projects in Africa and has helped train several senior African physicists and mathematicians who are holding important positions in Africa. Each region of Africa is represented. In each of them one can find associates and former associates of the centre. In many cases these elites, many of whom recognize Trieste as their second home, play important roles in designing the scientific policy of their countries and many hold important academic and research positions.

There are associates who have become ministers or secretaries in scientific affairs and presidents of universities. A few have occupied higher political positions. Almost all presidents of physical societies in Africa have an association with ICTP. The current Commissioner for Science and Technology of AU is a former ICTP associate and before his appointment he was director of ICTP affiliated centre in his home country, Benin.

The idea to form a society for African physicists originated at ICTP. On Friday, 26th August, 1983, thirty-four African scientists visiting ICTP from various parts of Africa; out of concern for the

- state of physics and mathematics in Africa,
- lack of cohesion and functional links among African scientists and
- great scientific and technological gap between the industrialized and developing countries particularly countries in Africa,



LAM-N (Laser Atomic Molecular-Network) and AfPS members with Senegal's President.

and aware that mathematics and physics are the basis of modern science and technology and wealth creation industries held a meeting and resolved to form the Society of African Physicists and Mathematicians (SAPAM).SAPAM was formally inaugurated at the Abdus Salam International ICTP in October, 1984 at a Pan African Symposium on the "State of Physics and Mathematics in Africa" attended by over 120 African scientists from 26 countries in Africa. The inauguration coincided with the opening ceremony of the 20th anniversary celebration of the existence of ICTP to which the then Italian Foreign Minister (and former Prime Minister), His Excellency Dr. G. Andreotti attended in person. During the same period, the meeting of Physics for Development and the 18th General Assembly of the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP) took place.

At the opening ceremony of the symposium Dr. Andreotti stressed the importance of science and technology and innovation as the tool for the sustainable social and economic development of Africa and asked the other development partners and donor agencies to assist Africa and said "Keynes said in the long run, we will all end up dying' indeed the populations affected by food and health problems must be helped, but they must also face these problems within a wider context, which would give them the tools for an autonomous development. Thus there is (besides the immediate direct help) another kind of help nonetheless, essential from the point of view of our civil conscience: the formation of researchers, technicians and experts whose competence is the base of the economic development of less developed countries and will ensure the good use of long-term investments prerequisite to any civic progress".

At that symposium, it was observed that among the problems contributing to the poor state of physics and mathematics in Africa were inadequate student numbers, shortage of teachers, lack of critical mass for effective research, poor experimental facilities, a shortage of textbooks and journals and inadequate interaction among African physicists and mathematicians.

Over the past 25 years, SAPAM has achieved very much including organizing conference and workshops, building links amongst physicists working in Africa, and building links with physicists worldwide. In recognition of its activities and initiatives, the then Organisation of African Unity (OAU) (now African Union) granted the society an Observer Status in 1990. With limited resources, SAPAM has made tremendous impact on the continent.

In 1987, long before climate change became a topical and global issue, SAPAM initiated the APEPMA (Applicability of Environmental Physics and Meteorology in Africa) series of workshops to sensitize the physical science community and African policy makers on issues related to climate and environment. The first workshop took place in Addis Ababa, Ethiopia, at the time when that part of the world experienced one of the most devastating droughts in the 20th century. The 8th in the series of this workshop took place in Botswana on 19-23 April 2010.

Before energy became the concern of governments in Africa, SAPAM has been running the Kumasi (Ghana) College on Renewal Energy since 1986. Some of the participants at these workshops have held and some are still holding positions such as ministers in charge of energy, members of energy commissions, researchers and teachers in energy studies, technology and innovation in their countries.

Two years after its founding SAPAM recognized the need for capacity building for sustainability in physics and mathematics education in Africa and it has been equipping and encouraging the younger generation in these disciplines. For example, SAPAM organized in 1986 a Pan-African workshop in Nairobi, Kenya, on harmonization of curricula in Physics, Mathematics and Computer Science at the tertiary level of education in Africa. At the same workshop, the production of low-cost scientific equipment for education in the sciences was initiated. For outreach activities, SAPAM has organized several training workshops in physics for high school teachers in various parts of Africa.

The founding and relative success of SAPAM led to the formation of the Edward Bouchet Abdus Salam Institute (EBASI) in 1988 in Trieste, Italy. EBASI, a US-Africa-ICTP initiative, provides: mechanisms for synergistic scientific and technical collaborations between Africa, African diaspora and American physicists, scientists, engineers and technologists, enhancement of the impact of science and technology on the sustainable development of the countries on the African continent; and increasing the technical manpower pool working in Africa by facilitating the training of PhD students from African universities.

In order to achieve its objectives, EBASI periodically organizes international scientific and technical conferences hosted by universities in African countries. These conferences promote collaborations between American and African physicists, scientists, engineers and technologists and tremendously enhance the quality of the African universities that host them. The collaborations fostered by these conferences have resulted in the training of a number of African graduate students.

At the 6th EBASI meeting and the General Assembly of SAPAM attended by over 200 physicists from all over Africa on 24th January 2007 at the iThemba Laboratory, Cape Town, South Africa, it was resolved that SAPAM should be transformed and be known as the African Physical Society (AfPS). It was recognized that a professional society was needed, which can be an advocate for physics and physicists at the AU, in the governments of the 54 African countries, amongst universities, research institutions and corporations, in primary schools, and in the African general public, a society that organizes meetings, conducts professional development workshops, suggests standards of professional conduct, provide information and does all the things that professional associations do.

At the iThemba Laboratory meeting the official publication of AfPS known as African Physical Review was inaugurated. It is a free on-line peer reviewed international journal dedicated to publishing in all branches of experimental and theoretical physics with emphasis on originality and relevance to basic understanding of contemporary physics and related interdisciplinary fields.

The AfPS was launched on the 12th January, 2010 under the distinguished patronage of His Excellency Maitre Abdulaye Wade, President of the Republic of Senegal. There were 110 African Physicists from 21 African countries and all national physical societies in Africa were present.

Goodwill messages were received from several physical societies worldwide. Financial support for the inauguration was received from the International Union of Pure and Applied Physics, the Institute of Physics (UK), the American Physical Society, the American Institute of Physics and ICTP. Logistic and financial support was also received from the National Society of Black Physicists (USA) and the government of the Republic of Senegal.

The membership model for AfPS is one where there are member societies, industry and research institute memberships, as well as individual memberships. The plan for AfPS if not to replace any national physical society, actually it is quite the opposite. It will endeavor to build national physical societies where one does not exist and provide a forum for these new ones and existing ones, (such as the South African Institute of Physics) to exchange information, personnel and other resources across the continent.

Importantly, the AfPS incorporates, as a subsidiary organization, the African Association of Physics Students. Because there is always a change in the student body from year to year, a student organization does much better if there is a permanent organization of professionals that help keep the organization alive.

Again the plan is not to replace any national association of physics students on the continent, but rather to link those that already exist and provide a way for physics students to connect to the larger physics world where a student association does not exist.

One of the important actions at the first meeting of the AfPS

was a resolution supporting South Africa's bid to host the Square Kilometer Array (SKA) radio telescope. Among the reasons given for the support were that SKA will underscore Africa's capability in science and innovation and the enormous investment in infrastructure will contribute to economic growth in the region. In addition, the requirements for ultra-high speed Internet across Africa to operate the SKA will lead to improved ICT infrastructure and access for millions of people.

As stated earlier, some of the major problems facing Africa in initiating and sustaining physics programmes are threefold: manpower, financial resources and working in isolation. Historically, Africa has produced first-class medical doctors, musicians, writers and lawyers. The studies of basic sciences, however, has not met with much public support because the public seems to think that to get to the top of the social ladder quickly one has to become a professional. Brilliant students in Africa, like their counterparts elsewhere in the third world, therefore compete for admission to professional courses. In Ghana for example, about 80% of students who opt for physics and mathematics at the universities are those who could not gain admission to professional courses.

The second problem is economic. Physics research is expensive. Gone are the days when Nobel-Prize-winning experiments could be done in an attic of a university building using wax, piece of wires, thin foils, galvanometers, etc. Nowadays one single piece of the measuring equipment plus accessories may cost over US $ 100 000.

Most countries in Africa are currently fighting problems brought about by the drought, world financial meltdown and expensive fuel prices. Foreign exchange to be invested in expensive equipment, journals and books is very hard to come by. African physicists have insufficient funds to participate in seminars and conferences.

The third problem is that of working in isolation. More often than not a research worker in Africa finds himself isolated from his colleagues not only in Africa, but also from those in the developed countries. Scientific journals, if he has foreign exchange to order them, take months to arrive so that he is hardly aware of current research activities and development.

How do we solve these problems? There is the need for international cooperation and collaboration in physics. Some of the benefits of research cooperation are innovation arising from cultural diversity, benefiting from wider expertise and aggregation of financial resources.

African countries with limited manpower and financial resources should establish regional centres of excellence where scientists from the region will meet and conduct research. The highly advanced industrialized countries with adequate manpower and financial resources have found the need to establish joint research programmes and regional centres in physics. Regional grouping for research and teaching is very essential if physics is to make an impact in Africa.

Programmes such as the African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), which identify top students and give them training, skills and pan-African and international connections are the type of training programmes the continent needs to quickly realize its scientific potential. AIMS is beginning to open new centres across Africa, expanding from South Africa to Ghana, Senegal and Ethiopia, and AIMS graduates have the potential (and numbers) to lead a transformation in African science and technology.

It is regrettable to mention that in Ghana like many other countries in Africa, there are no multinational companies conducting research and development projects. All research, development and innovation activities in Africa are government funded. It is suggested here that it is also very essential for the foreign-based local industries to conduct part of their research and innovation (R&I) work in Africa and thereby help transfer technology to Africa. These companies can also help by utilizing, say, one percent of their profit which should be tax free to fund R&I programmes in Africa.

The following questions need to be answered, how can Africa embrace such economy-transforming technologies as micro-computing, nanotechnology, genetic engineering, Eco-technology and information technologies without a strong foundation in basic sciences'?

Does Africa always have to wait decades before participating in global science? Cheap labour may have worked for Africa in the past, but in the era of globalization and knowledge-based society it will not work.

For the sake of global peace and stability in this age of globalization, the developed and developing world must participate as equal partners in a dialogue among civilizations and cultures. This can be achieved in part through collaboration in science, technology and the practice of good governance, for history teaches us that our world becomes safer, healthier and more stable through advances made in science and technology. George Henrik Von Wright, a Finnish philosopher defines modernity as science and technology on the one hand and human rights and democracy on the other.

The President of the African Physical Society, F. K. A. Allotey, and the President of the Italian Physical Society, L. Cifarelli, during the celebration of the 45th Anniversary of ICTP in Trieste.

F. K. A. Allotey

Professor F. K. A. Allotey is the Director of the Institute of Mathematical Sciences, Ghana. He was educated at the imperial College of Science, Technology and Medicine, UK (DIC) and Princeton University, USA (MA, PhD). He is president of the African Physical Society and Vice President of the African Academy of Sciences. He is a Fellow of the Academy of Sciences for Developing World (TWAS), the Institute of Physics (UK), the Ghana Academy of Arts and Science and the British Computer Society. He is a Chartered Information Technology Professional (UK). Member of ICTP Scientific Council and of the Advisory Board of Molecular Frontiers Foundation (Sweden). Previous appointments include Chairman of the Ghana Atomic Energy Commission, Governor of the International Atomic Energy Agency (Austria), Pro Vice Chancellor of the Kwame Nkrumah University of Science and Technology (Ghana), Senior Associate of the ICTP and co-author of the 1980 United Nations report on Nuclear Weapons. He has received several local and international honors and awards.

http://teachers.web.cern.ch/teachers/archiv/HST2002/Bubblech/e+%20annihilation.png

NICOLA CABIBBO AND HIS ROLE IN ELEMENTARY-PARTICLE THEORY

RAOUL GATTO[1]
University of Geneva, Geneva, Switzerland

Nicola Cabibbo has played an historical role in elementary-particle theory. In this writing I shall mostly concentrate on the times which I had spent in scientific discussion and collaboration with Nicola, as those times are more vivid in my memory. Those were the times were Nicola was working essentially in Rome and Frascati, as a young bright theoretician.

Nicola's work in weak interactions was an essential contribution to the interpretation of the experiments and to the basis of the theory. The developments leading to such work have been recently described in various articles by contemporary authors, who were not yet active in physics at the time of those debates, and so they could not know the problematic of that time. Fortunately Cabibbo himself has given the most authoritative account of such developments in a paper published for the Congress of the 1997 Centennial of Italian Physics in Il Nuovo Saggiatore in the section dedicated to the Evolution of Modern Physics (Il Nuovo Saggiatore, vol.14, no. 3-5, 1998 pag.125). In this paper Cabibbo explains, with his usual clarity and conciseness, the essential experimental and theoretical facts that led to the introduction of the Cabibbo angle.

When I first met Nicola in 1958 he was finishing his laurea with Bruno Touschek. I was just coming back from Berkeley, after a period which had been dense to weak interaction theory and experiments. Talking with Nicola, it was easy to understand that he was of an exceptional intelligence and that he had the qualities to become a good theoretician.

A little later while discussing with Castagnoli, who was working on radiative pion decays, it appeared to me that a modern calculation of the process would offer Nicola a vast opportunity for learning various theoretical techniques. Nicola did the calculation rather rapidly and published his paper in Il Nuovo Cimento, 11 (1959) 837. This was his first paper and showed his ability to rapidly learn advanced techniques.

At the beginning of the sixties Giorgio Salvini with his far-reaching vision considered that Frascati needed a theoretical group to support the experimental work and to influence the cultural environment of the laboratory. Cabibbo was the first member of the Frascati theory group. He contributed with an intense theoretical activity and a continuous interest in the experimental activities.

At that time, his works on the weak decays of K-mesons and hyperons, on the proton time-like structure (with Zichichi), and on the physics of photons in crystals (Il Nuovo Cimento , 27 (1963) 979) were much appreciated. Very important was indeed the first calculation for that time (Il Nuovo Cimento, 15 (1960) 304) of possible cross-sections from neutrino beams, which had just been imagined as feasible in accelerators. However the main activity was on electron-positron collisions and on *SU*(3) in weak interactions. On both we shall now discuss in more detail.

The work on *SU*(3) in electroweak interactions (Il Nuovo Cimento , 21 (1961) 872) showed the limits of an elementary application of *SU*(3) to weak decays. The decay rates of the strangeness-violating decays of hyperons were experimentally much smaller by factors of tenths than one would have expected from universality. A similar effect was present in K-decays, confirming the presence of a general problem that was hard to understand at that time. Renormalization effects due to strong interactions could always be invoked and they were difficult to calculate. But their required experimental magnitude seemed too large to be reproduced by theory. Some, quantitatively much smaller, difficulty was present with β decay as compared to μ-decay. It was numerically less relevant than in the case of hyperon decays, but still suggesting some perplexity, and Feyman in particular was taken by that problem, to which he worked with Berman.

The problem was at the time complicated by an apparent evidence, which was later not confirmed, of possible transitions for which the jump in strangeness, S, was opposite in sign to the jump in electric charge, Q, that is $\Delta S = -\Delta Q$. This fact, if confirmed, would have killed, already at a qualitative level, a basic theoretical notion strongly suggested by the comparison with electromagnetism of the strangeness conserving weak vector current. This unpleasant situation was clarified shortly after by an experiment by Paolo Franzini. In a recent mail Franzini tells me: "At least once each day I was saying Nicola: I have not yet seen any event with $\Delta S = -\Delta Q$".

The suspicion of the existence of transitions with $\Delta S = -\Delta Q$ played a non-negligible negative role in the situation and probably produced a delay in the solution of the problem, leading to thinking of new groups, such as exceptional groups to find a suitable

[1] Honorary Professor.

framework. More important, Murray Gell-Mann, who had already foreseen a solution in his work with Levy, was most probably discouraged to continue on that line. In the words of Nicola (in the aforementioned papers in il Nuovo Saggiatore):" In October 1963 I met Murray Gell-Mann at Brookhaven. The first thing he asked was: How did you know about $\Delta S = -\Delta Q$? This answered a question of my own: why hadn`t Murray found the correct solution? Then I knew: he probably had, but had put it aside because of the evidence for $\Delta S = -\Delta Q$."

On a deeper speculative side Cabibbo, with a conceptual experiment on the abstract exact *SU*(3), considered the real significance of the notion of strangeness, thus coming to the notion of mixing of currents (Cabibbo mixing). With the coming of the notion of quarks the mixing appeared as a quark mixing. A further general clarification came in 1969 with the important work of Glashow-Iliopoulos-Maiani. Their work showed the necessity of a quark with charm, allowing for a more symmetric formulation.

The parameter for the mixing is the Cabibbo angle. Determining its experimental value required some careful work, examining numerically the available data on weak decays. A non-renormalization theorem helped with this analysis. At present the value of the Cabibbo angle is a best known number in electroweak theory. We refer to a recent comprehensive study of Cabibbo and collaborators for a modern analysis of the subject (N. Cabibbo, E. Swallow, R. Winston, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci 53 (2003) 39).

The mixing within two quark families would not allow for phases, such as to possibly give rise to *CP* violation. The extension of the mixing when three quark families are present would instead allow for one such phase, and this was pointed out in '73 by Kobayashi and Maskava, in their work which was at the origin of their Nobel Prize. Also we mention that after discovering neutrino masses an entirely new field, that of neutrino mixings, opened up and is a center of great experimental and theoretical work at this moment.

At a more speculative level the problem rapidly arose whether the value of the Cabibbo angle could be theoretically calculated. Intense efforts in this sense were made at the end of the 60's. But the final conclusion is still lacking. In the words of Cabibbo : "...quark mixing is alive and well, but still shrouded by mystery... As in Henry James "The Figure in the Carpet", nature is trying to tell us something, what exactly we still do not understand".

The other important field to which Cabibbo contributed was that of electron-positron collisions. A very complete work for that time contained the calculation of the conceivable electron-positron processes. It was referred to as "the Bible" by the experimentalists, and even today it still serves as a reference. The courageous vision and dedicated activity of Bruno Touschek, together with the work of the physicists and engineers in Frascati, originated this line of research of electron-positron accelerators, which has played since then an important role in the development of physics. Particle-antiparticle collisions are a fundamental instrument for the understanding of the physics of elementary particles. These developments have been described in historical papers by Giorgio Salvini, by Carlo Bernardini, by Mario Greco and Giulia Pancheri (Analysis, no. 2, 3, 2008), as well as in the complete work by Luisa Bonolis (Rivista del Nuovo Cimento, 28, no. 11 (2005) 1), to which we refer.

The Bibbia went much beyond the expected experimental possibilities for that time, and, with courageous anticipation, calculated effects for a not impending future such as the production from electron-positron of W pairs and of Z. These processes were seen much later at CERN. Other effects like for instance the hadronic contribution to the *g*-2 of the muon from electron-positron cross-sections were also calculated, in view of their future relevance when such cross-sections would be experimentally known.

Even before the Bibbia, after a historical seminar by Panofsky in Rome in 1959, Nicola worked at the possible production of two and of three pions (Phys. Rev. Lett., 4 (1960) 313) from, at the time only desired, electron-positron beams. That work was mainly caused by the intense interest at that time on the unknown electromagnetic form-factors in the time-like region, which was an essential ingredient for writing down the relevant dispersion relations. Without the courage and the initiative of Bruno Touschek all that work would have remained at the level of purely theoretical speculation.

I have here especially expanded on the years in Rome and Frascati, or related to them, when I was in close contact with Nicola. However Nicola, after those years and those scientific activities, had always intensively worked, producing high quality physics. He was full professor in L'Aquila, at Rome Tor Vergata , and mostly at "Sapienza" Rome. He had been working at CERN, in Berkeley, in Princeton, in Paris, in New York, in Syracuse. He was the founder of the APE project to calculate quantum chromodynamics, beyond any perturbation scheme. He formed a number of high-quality students, among whom I cannot avoid mentioning Giorgio Parisi.

Nicola took most important responsibilities for Italian physics as President of INFN and as President of ENEA. He was President of the Pontifical Academy of Science from 1993.

In the delicate and important role of President of the Pontifical Academy of Science he had no hesitations on the debate around the creationistic theories, with an attitude marked by absolute scientific objectivity. This contribution to the debate was especially important due to his prestigious position in the scientific catholic community.

Cabibbo received many prizes and honors, which I can only enumerate here very briefly. He obtained the Sakurai Prize from the American Physical Society in 1989, the National Prize of the President of the Italian Republic, the Prize of the European Physical Society in 1991, the Fermi Prize of the Italian Physical Society in 2003, and lastly in the current year the Dirac Prize from the International Institute of Theoretical Physics. He received the Matteucci Medal, and the Culture Prize from the Italian President of the Ministers twice. He was elected Cavaliere di Gran Croce of the Italian Republic, and decorated by a golden medal attributed to the leading personalities in Science and Culture.

One cannot close this writing without mentioning the human qualities of Nicola. He had a great humanity and personal kindness. Besides his scientific sense of objectivity, he was very rational, thoughtful, open to new original ideas. And beyond that he also had a great sense of humor and of conviviality.

Raffaele Raoul Gatto

Honorary Professor of Geneva University, Member of the "Accademia Nazionale dei Lincei", fellow of the American Physical Society, Member of the "Accademia delle Scienze di Torino". Diploma from Scuola Normale of Pisa in 1951. Physicist at Radiation Laboratory, Berkeley, at the Max Planck Institute, at Frascati, and at CERN. Full Professor in Theoretical Physics in 1960, Universities of Cagliari, Florence, Padua, Rome, Geneva.
Researches in weak interactions, electron-positron collisions, QCD.
Prize of the President of the Italian Republic in 1975. Weak Interactions in Bologna in 1984. Prize of the SIF Centenary in 1997. Fermi Prize of the Italian Physical Society in 2003 (together with Cabibbo and Maiani).

THE ITALIAN GRADUATE PROFILE SURVEY

The Italian university reform was a failure, even a real disaster in somebody's opinion: but is it really so? The situation observed by the AlmaLaurea Consortium (which includes 60 universities) in its recent "2009 Graduate Profile" survey reveals quite a different outlook from the one that is so insistently described inside and outside universities. Providing a reliable overall review is easier today, eleven years on from the Bologna Process and nine years on from the university reform implementation in our country, thanks to both the great amount of relevant online data (www.almalaurea.it), and the promptness with which they are made available. In order to understand whether and what has changed during the long transition phase, we may compare the structural characteristics and performances of 2001 graduates, *i.e.*, those who completed degree programmes provided by the former university system, with today's graduates characteristics. This will help us ascertain whether, where and how the university reform succeeded in improving graduates' performances, bringing them closer to European standards, or whether and where it did not fulfil its aims.

The review resulting from this survey was carried out after the meeting attended by European Ministers responsible for Higher Education from the participating countries of the Bologna Process (currently 47), who met in Budapest and Vienna on March 11-12, 2010. As the Final Declaration of that meeting reads, having taken note that "while much has been achieved in implementing the Bologna reforms", the Ministers noticed that "EHEA (European Higher Education Area) action lines such as degree and curriculum reform, quality assurance, recognition, mobility and the social dimension are implemented to varying degrees". The need for better information and understanding concerning the Bologna Process refers to the final document of the Leuven/Louvain-la-Neuve conference, where it was underlined that "improved and enhanced data collection will help monitor progress made in the attainment of the objectives set out in the social dimension, employability and mobility agendas, as well as in other policy areas, and will serve as a basis for both stocktaking and benchmarking". Particularly in this respect, the contribution offered by the AlmaLaurea Consortium, with the support of the Italian Ministry for Education and Research (MIUR), has long been extremely significant and appreciated.

Profile of 2001 and 2009 graduates for comparison

This review draws a comparison between the performances of 2001 graduates and of the 190 000 students who graduated in 2009 (namely earning 110 000 first-level degrees, in three-year programmes; 47 000 second-level master's degrees, in two-year, postgraduate programmes; and 13000 single-cycle master's degrees, in five- or six-year programmes) from one of the 51 universities that had been AlmaLaurea members at least for one year. So, what happened and what changed before and after the university reform?

Attaining university qualifications proves to increasingly benefit young people from families where they are the first to earn a university degree. Among first-level graduates in 2009, that was the case for 75% of graduates (*versus* 73% in 2001).

Regular time to graduation has had a fourfold increase: students graduating on time did not reach the 10% level in 2001 (accounting for 9.5%), whilst their incidence increased to 39.2% in 2009.

Age at graduation is considerably lower than in the past. Pre-reform graduates earned their qualification, on average, at age 28.0 in 2001 as opposed to 27.1 for 2009 graduates. Even if quite expected, such data are even more appreciable if one considers the fact that access to university education among older people has determined a simultaneous rise in mean age at enrolment (from 20.0 to 21.1 years). Thus, if one factors delayed enrolment age into the calculations, mean age at graduation has dropped from 27.2 in 2001 to 25.0 for the overall graduate population. More specifically, in 2009, it was 23.9 years for first-level graduates; 25.0 years for second-level graduates and 26.1 years for single-cycle degree holders. Accordingly, the percentage of graduates younger than 23 years of age is greater than before (it was almost non-existent when the reform was introduced): 17%.

Class attendance has soared, with 66 graduates out of 100 attending more than three quarters of classes in 2009. Similarly, internships and training periods have shown a threefold increase, involving 54.5% of 2009 graduates as against 17.9% of 2001 graduates, hence reflecting a closer cooperation between universities and both public and private employers.

Work experiences during university have increased as well and, more frequently than before, they are consistent with the students' degree programmes. In 2009, slightly more than 10 graduates out of 100 completed their degree and simultaneously held a permanent job. This is certainly just the tip of a much deeper wish/need for education that would be completely expressed if only universities were able to fully grasp its extent as well as its cultural and political relevance.

Study periods abroad enjoyed by Italian graduates, which were shrinking in the years immediately following the reform's implementation, have steadily recovered and involved 13.9% of 2009 graduates. Study periods abroad were performed under EU programmes (Erasmus first of all), other international programmes recognised by the universities (Overseas and others) and out on personal initiative.

Such results ensued from opposing trends: first-level graduates enjoyed a study period abroad, particularly Erasmus, less than pre-reform graduates (quite understandably, given the shorter duration of their degree programmes). Among second-level graduates, on the other hand, up to about 18% has been engaged in such activities (even not taking into account study periods undertaken on personal initiative). Therefore, Italian second-level graduates rank quite high in a type of experience that education ministers meeting in Leuven in April 2009 committed themselves to extending to 20% of the European graduate population. Yet, most first-level graduates risk not having such important experiences in their training curricula, despite their greater need for them due to restrictions stemming from family origins, secondary education, and private means.

Overall graduates' satisfaction with their completed studies also improved. In 2001, 27.2% of graduates declared themselves extremely satisfied (whilst another 54.8% were quite satisfied). As to 2009, 33.9% pronounced themselves fully satisfied among first-level graduates (and

another 52.3% were quite satisfied). With reference to 2009, over 22 graduates out of 100 declared themselves extremely satisfied about the relations with academic staff. Student satisfaction is even greater when it comes to assessing university facilities, which were considered as being always or almost always adequate by more than a quarter of 2009 graduates, whereas IT workstations were deemed as acceptable and adequate in number by 35% of 2009 graduates. Asked to evaluate the idea of repeating the experience they had just completed, over two-thirds of graduates (more than 68%) responded positively, and this level of satisfaction remained practically unchanged between pre- and post-reform respondents, but among the latter it is higher among second-level graduates.

The trend towards pursuing further education, already significant before the reform's implementation (involving 60% of 2001 graduates), grew even stronger, reaching 77% of first-level graduates in 2009 (60.5% of whom intended to earn a postgraduate degree).

Physics graduates' profile and employment prospects: A cut above the rest

Graduates in physics come from culturally advantaged backgrounds, have a higher probability of having attended a lyceum (secondary school specialising in classical/scientific studies), especially a scientific lyceum, are excellent students throughout their university studies and complete them with better academic performance than the other first- and second-level degree holders.

The profile of physics graduates highlights students with better-than-average university performances. Indeed, these graduates are so successful that they decide to emigrate in search of a job in larger numbers as compared to the national average. This brain drain involves students who are "desirable" abroad, as they come from a first-rate "school'". At least, this is true for them to a greater degree than for degree-earners in other fields.

The fact that physics graduates' performances are so clearly different from the national average suggests that we are faced with a set of different groups which are identifiable by a series of aspects, ranging from family and social background, area of residence, secondary education, faculty, quality of curricula, availability of resources and equipment, up to how lively the local labour market is.

But how many people enrol in a physics degree programme? Although scientific subjects have went through a global crisis in terms of enrolment rates, something has changed, thanks also to the actions carried out by the MIUR in favour of scientific degree programmes. Enrolment rates in physical science have shown a downward trend from the academic year 1994/95 to 2000/2001, when the number of entrants

Profile of 2001 and 2009 graduates

	2001	2009			
	Total	Total	1st-level degree	2nd-level degree [1]	Single-cycle degree
Age at graduation (average)	**28.0**	**27.1**	**26.2**	**27.3**	**26.5**
Enrolment age (%)					
2 or more years above standard enrolment age	*10.5*	*22.7*	*20.9*	*31.5*	*7.3*
At least one parent with a university degree (%)	***24.6***	***26.1***	***23.2***	***29.5***	***46.5***
Secondary school-leaving certificate (%)					
secondary school specialising in scientific studies	*37.4*	*36.2*	*34.0*	*40.8*	*48.2*
technical secondary school	*27.0*	*26.8*	*30.2*	*23.9*	*9.9*
secondary school specialising in classical studies	*17.2*	*15.3*	*12.2*	*17.4*	*30.1*
Secondary school-leaving certificate mark (averages, out of 100)	**80.1**	**82.8**	**81.8**	**85.6**	**87.7**
Degree mark (averages)	**102.5**	**103.1**	**100.9**	**108.4**	**105.5**
Degree completion time (%)					
within prescribed degree completion time	*9.5*	*39.2*	*39.2*	*50.1*	*40.6*
1 year above prescribed degree completion time	*17.9*	*26.0*	*25.1*	*37.5*	*25.4*
2 years above prescribed degree completion time	*19.0*	*12.3*	*14.6*	*10.0*	*16.2*
5 or more years above prescribed degree completion time	*24.5*	*11.2*	*6.4*	*0.1*	*6.0*
Attending over 75% of prescribed classes [2] (%)	***63.7***	***66.2***	***66.9***	***72.2***	***73.4***
Earned study abroad experiences during academic studies [2] (%)	***18.8***	***12.2***	***10.6***	***15.5***	***16.2***
studied abroad with Socrates/Erasmus or other European Union programmes	*8.4*	*6.4*	*5.2*	*8.8*	*10.2*
Carried out training periods or training practise experiences (%)	***17.9***	***54.5***	***60.5***	***53.3***	***47.1***
at university	*4.3*	*10.8*	*11.6*	*10.8*	*15.2*
Carried out work activities (%)	***65.6***	***74.5***	***74.6***	***74.9***	***58.6***
studying workers	*9.0*	*10.4*	*10.2*	*9.5*	*1.9*
Expressed overall satisfaction with degree course: yes definitely (%)					
degree course	*36.0*	*35.2*	*33.9*	*37.8*	*37.3*
relationships with academic staff	*19.8*	*22.3*	*21.2*	*25.8*	*18.2*
Would enrol again at university [2] (%)					
yes, on the same course and at the same university	*68.6*	*68.4*	*66.3*	*74.3*	*71.1*
yes, at the same university but on a different course	*11.8*	*9.9*	*11.8*	*6.5*	*4.8*
yes, on the same course but at a different university	*9.6*	*11.4*	*11.7*	*8.8*	*18.0*
yes, but on a different course and at a different university	*7.0*	*6.6*	*7.2*	*5.7*	*3.2*
would not enrol again at university	*1.7*	*2.5*	*1.9*	*3.6*	*1.1*
Intending to pursue postgraduate studies (%)	**59.8**	**64.4**	**76.9**	**41.3**	**69.4**
second level degree	-	*36.3*	*60.5*	*1.2*	*1.5*
postgraduate school	*12.2*	*5.7*	*2.2*	*5.2*	*38.0*
master (any kind)	*17.1*	*9.5*	*8.4*	*11.6*	*8.9*
PhD	*6.1*	*4.4*	*0.5*	*12.7*	*6.1*
other	*23.8*	*8.2*	*4.9*	*10.3*	*14.5*

(1) Data relative to 2nd-level graduates (3+2 years) refer only to the second two-year course.

(2) Data relative to the whole 2004 graduates.

fell from 3359 to 1454; moreover, over half of enrollees then lost their way and never earned their degree. Between 2001 and 2005/2006, a steady increase was observed, with 2400 students enrolling in first-level degree programmes in physical science and technology. From 2007 to 2009 there followed a slight drop, with 2378 enrolled students in 2007/2008 and 2397 in 2008/2009. Enrolment rates make it possible to contextualise the analysis of these students' performance right from the starting line. What is their profile after graduation?

The following analysis takes into consideration 2009 graduates from AlmaLaurea member universities (from now on, "physics graduates"), namely 913 first-level graduates in physical science and technology and 437 second-level graduates in physics. They account for 70 and 66%, respectively, of the whole physics graduate population at the national level.

Women continue to be a minority also in post-reform physics degree programmes, as opposed to what is observed at the national level when considering all fields of study percentages: they now account for 33% first-level physics graduates and 32% postgraduate degree programmes, whilst they were 31.6% among 2001 degree-holders.

Nearly one in two physics graduates (46% at the first level and 47% at the second) has at least one parent with a university degree, as against 25% in the overall graduate population. Moreover, a strong vocation for physics is fostered already at school: 77% of first-level physics graduates hold a scientific lyceum school-leaving certificate, whilst 10% a classical lyceum school-leaving certificate. As to second-level degree holders, 79% attended a scientific lyceum and 11% a classical secondary school. Such rates of school provenance are markedly higher than in any other degree programme. The phenomenon of students coming from lyceums is particularly widespread when one compares pre- and post-reform degree programmes: in 2001, physics graduates with a scientific lyceum school-leaving certificate were 70%, and 9% of them held a classical secondary school-leaving certificate.

School-leaving grades are markedly higher among physics graduates compared to the national average: a mean 91.9 (on a 60–100 scale) for first-level physics graduates, as against the overall average of 81.8, and 94.8 for second-level physics graduates as against the overall average of 85.6. There is no major change with the pre-reform situation: even in 2001 students in physics programmes had higher school-leaving grades than the overall student population.

As the degree programme attracts students who were already clever at school, they are not frightened by the workload: 86% of first-level and 91% of second-level physics graduates attended classes regularly, achieved higher grades in their exams (average grade is 26.7 at the first level and 28.7 at the second level) and complete their studies on time in 57% of cases for undergraduate degrees and 51.5% for postgraduate degrees. Generally speaking, we have noticed that the university reform improved time to graduation, and this can be said for physics graduates as well. Even taking into account the limitation in comparing degree

Profile of the 2009 physics graduates

	Physical science and technology (1st-level)	Physics (2nd-level)[1]
Age at graduation (average)	**24.0**	**25.7**
Enrolment age (%)		
2 or more years above standard enrolment age	*6.4*	*14.9*
At least one parent with a university degree (%)	***45.8***	***46.9***
Secondary school-leaving certificate (%)		
secondary school specialising in scientific studies	*77.2*	*79.4*
technical secondary school	*9.0*	*5.7*
secondary school specialising in classical studies	*10.3*	*11.4*
Secondary school-leaving certificate mark (averages, out of 100)	**91.9**	**94.8**
Degree mark (averages) [2]	**104.7**	**111.2**
Degree completion time (%)		
within prescribed degree completion time	*57.1*	*51.5*
1 year above prescribed degree completion time	*19.7*	*34.6*
2 years above prescribed degree completion time	*9.9*	*11.0*
Attending over 75% of prescribed classes (%)	***86.4***	***91.3***
Earned study abroad experiences during academic studies (%)	***6.3***	***20.9***
studied abroad with Socrates/Erasmus or other European Union programmes	*2.9*	*8.2*
Carried out training periods or training practise experiences (%)	***46.2***	***36.8***
at university	*21.4*	*13.9*
Carried out work activities (%)	***57.3***	***54.3***
studying workers	*2.2*	*0.7*
Expressed overall satisfaction with degree course: yes definitely (%)		
degree course	*39.8*	*47.6*
relationships with academic staff	*28.8*	*35.1*
Would enrol again at university (%)		
yes, on the same course and at the same university	*78.6*	*85.8*
yes, at the same university but on a different course	*7.7*	*3.8*
yes, on the same course but at a different university	*8.3*	*6.5*
yes, but on a different course and at a different university	*2.6*	*2.2*
would not enrol again at university	*0.8*	*0.2*
Intending to pursue postgraduate studies (%)	**91.3**	**73.1**
second level degree	*82.3*	-
postgraduate school	*0.9*	*2.6*
master (any kind)	*3.6*	*2.4*
PhD	*1.9*	*64.4*
other	*2.4*	*3.1*

(1) Data relative to 2nd-level graduates (3+2 years) refer only to the second two-year course.

(2) For the purposes of the calculation of averages, the grade of 110 cum laude was assigned the value of 113.

programmes of different duration, students who completed their course within regular time to graduation were only 4% in 2001.

The phenomenon of a growing number of graduates enrolling later than the standard age was not detectable among physics graduates. Furthermore, student-workers make up a small percentage of this group, namely 2% among first-level and only 0.7% among second-level graduates, which confirms that this course of study makes it extremely difficult to study and work at the same time and/or attracts students who have little need to hold down jobs.

Among first-level physics graduates, only a few experienced study periods abroad (barely 6%, half of which under Erasmus). This kind of experiences – which involved 18.5% of 2001 physics graduates – is generally postponed to the postgraduate level, during which over a fifth of graduates enjoyed a period of study abroad (more specifically, 8% under an Erasmus programme and 9% with other programmes recognised by the university). On the whole, these are high values showing a full attainment of the 2020 targets set by European ministers.

Internships and training periods during university years rose in postgraduate physics degree courses, with 46% of first-level and 37% of second-level graduates being involved.

In the physics graduates' profile, final degree grade is very high indeed, especially as far as second-level graduates are concerned. On average, it is 111.2 out of 110 (110 cum laude is conventionally considered as 113 in AlmaLaurea data). What about age at graduation? In 2001, an average physics graduate earned his/her qualification at the age of 26.9. In the 2009 first-level physics graduate cohort, mean age at graduation is 24.0 as against 26.2 in the overall graduate population. Likewise, age at graduation is 25.7 among second-level physics graduates as opposed to 27.3 in the overall graduate population.

After graduation, satisfaction with the university experience is positive as recorded by reaction to the idea of repeating the experience: 79% of first-level and 86% of second-level graduates would enrol again in the same university, while 8% and 6.5%, respectively would enrol in the same programme but in other universities.

The experience of earning a physics degree course is highly appreciated, particularly by postgraduate degree-holders: 48 graduates out of 100 are definitely satisfied, while as many expressed a positive opinion all the same. On the whole, post-reform physics graduates gave more positive opinions than their counterparts as regards adequacy of lecture rooms and IT labs.

As to the workload sustainability, physics graduates are more critical: 21% of first-level degree holders think the workload is "definitely" sustainable as against 29.5% of the overall graduate population; among second-level degree holders the figure is 33% as against 35% of the overall graduate population. Thus, physics graduates, and especially post-reform ones, perceive their workload as being heavier. This trend is observed in all graduates in technical-scientific fields of study.

The intention to achieve postgraduate qualifications is generally considered as the litmus test for determining the reform's progress status. However, it is evident that a large number of factors affect this indicator, and these have worsened vis-à-vis the difficulties faced by young people in perceiving encouraging scenarios and long-term prospects. Furthermore, the course of study in physics is deeply research-oriented, the most sought after field by secondary school graduates.

It is certain that after completing first-level degrees, 91 physics graduates out of 100 express their intention to pursue postgraduate studies, especially in a second-level degree programme (82%). An outstanding percentage! And what happens after the second-level degree? 73%, as against 41% of the overall postgraduate degree-holders, wish to pursue their education even further and, among them, 64% yearn for a PhD (they are only 12% of the overall graduate population).

What actually happens after graduation confirms these intentions. The framework of reference is that of a country in trouble: the economic crisis has hit graduates as well, including those from "strong" degree programmes. What awaits physics graduates when they leave university? 90% of first-level physics graduates are enrolled in a postgraduate programme at one year after graduation (with 12% of them studying and working at the same time). This is why a short reference to second-level graduates' employment status is required.

The peculiar nature of this degree programme, which entails further PhD-level education for large numbers of graduates (62% of graduates at one year after graduation), encourages us to adopt the definition of "employed status" used by Istat (the Italian Statistics Institute) in its labour force surveys: those engaged in paid postgraduate training are considered employed. The employment rate of physics second-level degree-holders is 86%, higher than for the overall graduate population (75%). These are the 2008 graduates, namely 405 people who were surveyed and interviewed in 2009. Stable employment – excluding those engaged in paid postgraduate training – is enjoyed by 29% of physics graduates; their monthly net income is €1,092 as against €1,115 reported by the average AlmaLaurea graduate.

Excellent graduates, but not for a country with no investment in research and development

AlmaLaurea data clearly point to very positive performances by post-reform physics graduates. They make up a group that is advantaged since the beginning of university studies. Moreover, they generally graduate maintaining their quality unchanged and delivering particularly brilliant outcomes. After graduation, they assess their university choice in favourable terms. What about after graduation? Employment prospects centre upon the world of research that, willy-nilly, goes beyond the national borders of a country which struggles to invest in development and innovation: 13% of 2004 pre-reform physics graduates are living and working abroad 5 years on from graduation, as against 5% of the overall number of scientific degree-holders and 3% of the overall AlmaLaurea graduate population; 8% of second-level physics graduates as against 4.5% of the total graduate population have settled abroad. Hence, there lies the challenge. This report ought to provide food for thought even in Italy, where the reform process was introduced earlier than in other countries (not always – maybe – out of eagerness for renewal), and an opportunity for exploring the topic and relying on soundly gathered empirical evidence. Indeed, even though figures do not tell everything, empirical data are the fundamental basis for any rigorous evaluation.

Over the past ten years, Italian universities have achieved the following outcomes: a larger number of graduates, a considerable reduction of the standard graduation age, a fourfold increase in students graduating on time, improved class attendance, improved relationships with the labour market, a threefold increase in training experiences before graduation, and an almost complete achievement – at least among second-level graduates – of the strategic objectives set by the EU as regards study periods abroad.

How should public opinion evaluate a country that achieves these targets in education?

Besides all the various things that are still to be amended, and the difficulties, such as the lack of proper funding and ongoing reforms, the results achieved are more reassuring than what the staunch advocates of the reform's failure keep on saying.

Such results would not have been possible without the continuing commitment by many professors and researchers who are the real "good Samaritans" in culture and research. However, a concern should not be neglected, *i.e.*, that young people, even the more competent ones, risk being caught between a labour market which does not offer many jobs and a research world that has little access to funding. Indeed, it is certain that an "army of good Samaritans" will not be sufficient to ensure recovery and future development if the country does not start acknowledging that investments in higher education and research are a strategic priority.

Andrea Cammelli
University of Bologna
Director of Almalaurea

PREMIO "ENRICO FERMI" DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA 2010

Il Premio Enrico Fermi fu istituito dalla Società nel 2001, in occasione del centenario della nascita del grande scienziato. Esso è attribuito annualmente a soci "*che abbiano particolarmente onorato la fisica italiana con le loro scoperte*". È il riconoscimento più prestigioso della Società, attribuito, tra il 2001 e il 2008 a diciannove soci, italiani e stranieri, per scoperte di altissimo valore scientifico nei diversi settori della fisica.
Per il 2010 il premio è attribuito e consegnato in occasione della cerimonia di apertura del 96° Congresso Nazionale a Bologna, il 20 settembre 2010:

- per l'Astrofisica, congiuntamente al Dr. Enrico Costa (INAF-IASF Roma) e al Prof. Filippo Frontera (Università di Ferrara) con la seguente motivazione: "*Per la scoperta dell'afterglow X dei Gamma-Ray Burst con il satellite BeppoSAX*"
- per la Fisica Nucleare, a Francesco Iachello, Professore J. W. Gibbs presso l'Università di Yale (USA) con la seguente motivazione: "*Per il suo contributo alla teoria dei nuclei atomici e, in particolare, per la scoperta di una ricca varietà di simmetrie dinamiche e supersimmetrie*".

Enrico Costa

Filippo Frontera

ASTROFISICA

Enrico Costa e Filippo Frontera

I lampi di raggi gamma (in inglese Gamma-Ray Burst, abbreviato GRB), sono un fenomeno cosmico di breve durata, da qualche millisecondo a qualche decina di minuti. Si tratta delle esplosioni più violente osservate, nelle quali viene rilasciata un'enorme quantità di energia, seconda solo a quella del Big Bang. I GRB sono abbastanza frequenti, 2 o 3 al giorno, e appaiono un po' ovunque nella volta celeste.

I primi GRB furono osservati a partire dal 1973, durante la guerra fredda, dai satelliti VELA messi in orbita dagli USA, per controllare eventuali esplosioni di bombe nucleari nell'atmosfera. I raggi gamma non penetrano sufficientemente l'atmosfera terrestre e non possono quindi essere osservati da terra. Presto ci si accorse che essi non originavano, fortunatamente, in atmosfera, ma nel cosmo. L'osservazione rimase a lungo coperta da segreto. Quando la comunità scientifica ne venne a conoscenza, si pensò inizialmente che queste sorgenti, che improvvisamente si accendevano e altrettanto rapidamente si spegnevano e che durante la loro breve esistenza avevano intensità elevatissime, non potessero essere molto distanti da noi, ma stare al più nella nostra Galassia. Altrimenti, si pensava, se a noi arriva così tanta energia, quella emessa dovrebbe essere impensabile. Ma, successivamente, nei primi anni '90, qualcosa, la loro distribuzione nel cielo ad esempio, non tornava. Se fossero localizzati nella nostra Galassia essi dovrebbero avvenire preferibilmente nel piano galattico e non, come osservato, in tutta la volta celeste uniformemente. Ma nonostante questa isotropia, non era esclusa nè un origine locale nè un'origine nell'alone della nostra Galassia.

La difficoltà è che strumenti con grande campo visivo, capaci di osservare un numero ragionevole di eventi, hanno, nella banda dai 100 keV ai 10 MeV, dove questi eventi rilasciano la massima parte della loro energia, una capacità direzionale molto limitata, da qualche grado a decine di gradi. D'altronde, i lampi gamma non hanno alcuna caratteristica che possa permettere, misurandola, di determinare la distanza della loro sorgente. Una soluzione poteva essere l'osservazione, se mai ci fosse stata, di una post-luminescenza, afterglow in inglese, a lunghezza d'onda maggiore, associando la sorgente gamma con una sorgente di raggi X (ancora da satellite) o una sorgente radio o ottica (da telescopi al suolo). In quest'ultima banda, in particolare, l'osservazione di righe negli spettri avrebbe permesso di determinarne la distanza. Ciò però richiede telescopi completamente diversi da quelli per i gamma. Inoltre, le sorgenti in diversa lunghezza d'onda devono essere associate tra loro, misurandone con grande precisione le posizioni e scoprendo che esse coincidono. Il tutto deve fatto prima che la post-luminescenza, peraltro ipotizzata ma mai trovata, si spenga. Molti anni di sforzi in tutto il mondo avevano portato solo a piccoli progressi.

Il cammino che condusse alla scoperta fu iniziato nel 1981 con la proposta del satellite SAX che aveva a bordo delle camere X a largo campo di vista, proposte per lo studio della variabilità delle sorgenti celesti di raggi X, specie nel piano della nostra Galassia. Nel 1984, Frontera propose una modifica della strumentazione del satellite Italo-Olandese BeppoSAX (dove il nome è in onore di "Beppo" Giuseppe Occhialini) per rivelare senza ambiguità eventi GRB e pilotarne la ricerca nella banda X, usando le camere X a largo campo, che si stimava potessero in media rivelare 2-3

GRB all'anno. Ciò avrebbe permesso, per questi pochi eventi, di determinarne con precisione la posizione in cielo, e di lanciare quindi ulteriori osservazioni per la ricerca di una eventuale post-luminescenza. La strumentazione proposta da Frontera, il cosiddetto Monitore di Burst (denominato GRBM), fu sviluppata insieme a Costa.

Nel luglio 1966 fu osservato un primo GRB con le camere X. All'osservazione seguì, a distanza di un mese, la ricerca di post-luminescenza, puntando in quella direzione i sensibili telescopi X a bordo di BeppoSAX. Ma la ricerca diede esito negativo. Costa e Frontera misero allora a punto una procedura per accelerare i tempi di ricerca di post-luminescenza e concatenare i dati dei vari strumenti.

Finalmente, il 28 febbraio 1997 un GRB fu accuratamente localizzato e puntato dai telescopi X a campo stretto del satellite. Una sorgente precedentemente ignota e di intensità rapidamente declinante fu scoperta. La sua controparte ottica fu anche osservata, all'interno di una nebulosità diffusa, probabilmente una galassia. L'8 maggio 1997 un altro evento mostrò un simile fenomeno di post-luminescenza sia nei raggi X che nell'ottico. Lo studio degli spettri ottici permise di determinare la distanza della sorgente: 10 miliardi di anni luce. Ciò stabilì che i GRB non sono nella nostra Galassia, ma molto più lontani; sono esplosioni di incredibile intensità a distanze cosmologiche. Dopo 25 anni i Gamma-Ray Burst cessavano di essere un mistero per diventare oggetti di ricerche sistematiche, proseguite da altri satelliti X e gamma realizzati successivamente, e da una fitta rete di osservatori nell'ottico, nell'infrarosso e nelle onde radio.

FISICA NUCLEARE

Francesco Iachello

Le simmetrie sono di estrema importanza nella Fisica, sia a livello macroscopico sia ai livelli microscopici. Le simmetrie dei cristalli, come ad esempio quelli esagonali della neve, ci danno informazioni sulla struttura delle molecole e delle loro interazioni. Ma il concetto è più ampio.

Le successioni dei livelli energetici di due atomi diversi, ad esempio, possono essere molto simili, se non proprio identiche. Se questo accade, significa che le forze interne all'atomo hanno caratteristiche definite.

Spesso, come nell'ipotesi appena fatta, la simmetria non è perfetta, come quella speculare tra i due lati di un viso. Si parla allora di "rottura della simmetria". E anche questa ci porta informazioni importanti.

Ancora, la simmetria è spesso ancora più astratta, è una proprietà delle leggi, cioè delle espressioni matematiche, che descrivono la natura.

Una delle caratteristiche importanti degli oggetti microscopici, come gli atomi, i nuclei e le particelle, è il loro momento angolare intrinseco, detto "spin". In opportune unità di misura, gli spin hanno valori semplici: numeri interi (0, 1, 2,…) o semi-interi (1/2, 3/2, 5/2,…). I primi sono detti bosoni, i secondi fermioni. I comportamenti e le simmetrie dei due tipi di oggetti sono molto diversi. Ad esempio ai bosoni piace stare tutti assieme mentre i fermioni vanno ciascuno per proprio conto.

I contributi, teorici, di Iachello riguardano le simmetrie dei sistemi (microscopici) complessi, in particolare dei nuclei. Queste simmetrie, dette dinamiche, corrispondono a simmetrie dell'interazione tra i costituenti, i protoni e i neutroni.

Iachello, in collaborazione con il fisico giapponese A. Arima, introdusse nel 1974 in una serie di articoli, le simmetrie dinamiche in Fisica Nucleare, sviluppando il Modello a Bosoni Interagenti. I protoni e i neutroni sono in realtà fermioni, con spin ½, ma una coppia di tali particelle ha spin totale intero, è cioè un bosone. Nel modello, i nuclei con numero pari di neutroni e di protoni sono descritti come sistemi di siffatte coppie correlate con spin 0 o 2. Queste simmetrie dinamiche divennero un potente schema per la classificazione dei nuclei atomici e dei loro livelli energetici. Le previsioni del modello furono verificate sperimentalmente. Il modello unifica, in qualche misura, i due modelli pre-esistenti: il modello a strati (shell model) di Maria Goeppert-Mayer e H. Jensen (Premio Nobel 1963) e quello a goccia di A. Bohr e B. Mottelson (Premio Nobel 1975).

Nel 1980, F. Iachello allargò ulteriormente il concetto, introducendo la "supersimmetria" in Fisica Nucleare. Questa associa oggetti di spin intero e di spin semintero, tramite lo sviluppo di nuovi concetti algebrici. La supersimmetria era già stata introdotta, come ipotesi teorica fondamentale, in Fisica delle Particelle, ma qui non è (ancora?) stata osservata. Il nuovo collisore del CERN, LHC, potrebbe osservare tra non molto le prime particelle "supersimmetriche". Per ora, la supersimmetria è stata osservata solamente, secondo le previsioni di Iachello, come simmetria dinamica in Fisica Nucleare.

A. Bettini
Università degli Studi di Padova

Francesco Iachello

PREMIO "OCCHIALINI" DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA 2010

Il Premio Giuseppe Occhialini è stato congiuntamente istituito dalla Società Italiana di Fisica e dall'Institute of Physics, del Regno Unito ed Irlanda, nel 2007, in occasione del centenario della nascita, per onorare la memoria del grande scienziato, che operò in Italia e in Inghilterra, e consolidare le relazioni tra le due Società. Il premio è bandito annualmente dall'una o dall'altra Società alternativamente e conferito ad un fisico operante in Italia, nel Regno Unito o Irlanda, "in riconoscimento di risultati rilevanti del suo lavoro di ricerca in fisica negli ultimi 10 anni". Nei due anni passati il premio è stato attribuito a due ricercatori entrambi italiani, operanti uno in Italia ed una in Inghilterra, i quali, nella loro non ancor lunga carriera hanno già dato contributi rilevanti alla Fisica.

Il presidente dell'Institute of Physics, Prof. J. Bell-Burnell consegna il Premio Occhialini a I. Ciufolini, Londra 30 settembre 2010.

I satelliti LAGEOS, GRACE e LARES.

Per il 2010, il premio è stato assegnato il 30 settembre a Londra dall'Institute of Physics al Prof. Ignazio Ciufolini dell'Università di Lecce per la scoperta delle forze gravito-magnetiche previste dalla teoria della relatività generale di Einstein, impiegando telemetria LASER di precisione di satelliti in orbita terrestre. Una delle previsioni della teoria della relatività generale, pubblicata da A. Einstein nel 1915, è l'esistenza di forze gravitazionali dovute al moto delle masse, cioè alle "correnti di massa", analoghe alle forze magnetiche dell'elettromagnetismo, che sono originate dalle cariche in moto, le correnti elettriche. Nulla di simile esiste nella gravitazione classica di Newton. Mentre altri effetti previsti dalla teoria della relatività generale furono via via osservati nei decenni seguenti, il settore "gravitomagnetico" rimase insondato sino in tempi relativamente recenti.

Un corpo in orbita attorno alla Terra ne viene attratto dalla forza Newtoniana gravitazionale, proporzionale alla massa della Terra. Le masse che costituiscono la Terra però, non sono ferme, ma girano, si muovono circolarmente in un piano normale all'asse terrestre. Queste correnti di massa dovrebbero produrre forze gravitomagnetiche, in particolare, sui satelliti artificiali ed influenzarne l'orbita. Nell'originale proposta di Ciufolini del 1984 si trattava di misurare con precisione, mediante telemetria LASER, le orbite di due satelliti di tipo LAGEOS (Laser Geodynamics Satellite) caratterizzati da orbite particolari. L'effetto gravitomagnetico determina la precessione della "linea dei nodi" del satellite, cioè della linea che congiunge le due intersezioni della sua orbita con il piano dell'equatore celeste. Se la Terra fosse perfettamente sferica e non ci fossero effetti di relatività generale la linea dei nodi rimarrebbe stazionaria. In pratica, la non sfericità della Terra crea perturbazioni della linea dei nodi molto maggiori dell'effetto gravitomagnetico. Se però le inclinazioni dei piani orbitali dei due satelliti formano angoli tra loro supplementari con il piano equatoriale della Terra, osservò Ciufolini, misurando e combinando le precessioni delle loro linee dei nodi, si sarebbero potute eliminare completamente le più grandi di queste perturbazioni, isolando così l'effetto di relatività generale.

Il programma era concettualmente semplice, poco costoso e sfruttava un'infrastruttura programmata per altri scopi. La missione dei satelliti LAGEOS era infatti di carattere geodetico (misura della forma esatta del globo terrestre, il geoide) e geologica (studio del moto delle placche tettoniche). I satelliti sono semplici sfere di ottone ed alluminio, della forma di una grande palla da golf del diametro di 60 cm, con la superficie coperta da 426 specchi che riflettono la luce LASER. Essendo completamente passivi, il loro costo è limitato. LAGEOS 1 fu lanciato nel 1976, LAGEOS 2 dall'ASI e NASA nel 1992; il terzo, originalmente previsto con l'inclinazione orbitale supplementare al LAGEOS 1, ovvero con inclinazione di 70°, non fu mai lanciato. Il LAGEOS 2, con un'inclinazione di 52° non aveva purtroppo l'orbita ottimale per eliminare completamente gli effetti non gravitomagnetici.

L'effetto gravitomagnetico atteso è estremamente piccolo, meno di due metri di spostamento della linea dei nodi all'anno. La telemetria LASER permette in realtà misure anche molto più precise, a livello dei centimetri. Il problema stava nelle incertezze sulle perturbazioni orbitali dovute ai dettagli del campo gravitazionale terrestre causati dalle non sfericità della Terra, come sopra ricordato. Ciufolini e collaboratori riuscirono però a risolvere tutti i problemi, anche con i due soli LAGEOS disponibili, grazie alle misure molto accurate del campo gravitazionale terrestre fatte recentemente dai satelliti GRACE, lanciati nel 2002, e riuscirono ad osservare per la prima volta l'effetto, confermando la teoria di Einstein con una precisione dell'ordine del 10%. Il progetto LARES (Laser Relativity Satellite), proposto da Ciufolini con il lancio di un terzo satellite, il LARES appunto, fornirà un'ulteriore "linea dei nodi" osservabile e consentirà di eliminare altre perturbazioni orbitali dovute alla non sfericità della Terra e di migliorare quindi di circa un ordine di grandezza l'accuratezza della misura del gravitomagnetismo. Il LARES, dell'ASI e dell'INFN, è già pronto e dovrebbe essere lanciato il prossimo anno.

Per apprezzare meglio le difficoltà della ricerca, si noti, che a partire dal 1960 fu sviluppato in sede NASA il progetto Gravity Probe B per una misura di alta precisione dell'effetto. Il progetto portò alla messa in orbita di una sofisticata apparecchiatura dedicata. Ma, nonostante gli enormi costi, Gravity Probe B non ha portato a tutt'oggi a risultati apprezzabili sul gravitomagentismo.

A. Bettini
Università degli Studi di Padova

IL PREMIO NOBEL PER LA FISICA 2010

Andre Geim

Sergeom, Wikimedia Commons

Kostantin Novoselov

University of Manchester, UK

Il Premio Nobel per la Fisica 2010 è stato assegnato congiuntamente a due scienziati dell'Università di Manchester, Andre Geim e Kostantin Novoselov, per "i rivoluzionari esperimenti riguardanti il materiale bidimensionale grafene".

Andre Geim nasce a Sochi, in Russia, nel 1958. Laureato nel 1982 all'Università Fisico-Tecnica di Mosca, ottiene nel 1987 il PhD in Fisica della Materia Condensata all' Istituto di Fisica dello Stato Solido di Chemogolovka dove poi svolge attività di ricerca per tre anni. Dal 1990, come borsista postdoc, lavora presso le Università di Nottingham, Bath e Copenhagen. Dal 1994 al 2000 è Professore Associato presso l'Università di Nimega, dal 2001 è professore a Manchester e, dal 2002, Direttore del centro per Mesoscienza e Nanotecnologia dell' Università di Manchester.

Kostantin Novoselov, anch'egli nato in Russia, nel 1974, a Nizhny Tagil negli Urali, si laurea all'Università Fisico-Tecnica di Mosca nel 1997. Svolge attività di ricerca a Chernogolovka fino al 1999 e poi presso il Laboratorio di Alti Campi Magnetici, a Nimega, ove ottiene il PhD. Nel 2005 diventa "Leverhulme Research Fellow" presso l'Università di Manchester ove è attualmente Professore.

Geim e Novoselov sono stati in grado di isolare da un campione di grafite un singolo piano libero di atomi di carbonio. Non era mai stato possible precedentemente ottenere un sistema strettamente bidimensionale che, dal punto di vista teorico, era supposto non esistere a causa di instabilità termodinamiche. Grafene è il nome dato a questo foglio di atomi di carbonio che sono disposti sui vertici di un reticolo bidimensionale di esagoni "a nido d'ape". Anche se da un punto di vista teorico la struttura elettronica del grafene era nota da circa sessanta anni, e il singolo piano infinito di atomi di carbonio era considerato un esercizio accademico per teorici dello stato solido, solo con il lavoro di Geim e Novoselov "*Electric field effect in atomically thin carbon films*" comparso sulla rivista Science, nel 2004, gli autori dimostrano la possibilità sperimentale della sua realizzazione, usando una semplice tecnica micromeccanica di esfoliazione della grafite tridimensionale, aprendo così una nuova area di ricerca teorica e sperimentale. La qualità dei campioni ottenuti era così elevata da consentire trasporto balistico ed effetto Hall quantistico anche a temperatura ambiente.

Gran parte delle notevoli e uniche proprietà del grafene derivano dalla sua particolare struttura a bande nella regione a bassa energia dello spettro di eccitazione. Tale struttura elettronica è strettamente legata alla distribuzione degli atomi di carbonio nel reticolo a nido d'ape, con due atomi per cella primitiva. L'ibridizzazione sp^2 degli orbitali $2s$, $2p_x$ e $2p_y$ degli atomi di carbonio del foglio di grafene genera i forti legami covalenti nel piano, che garantiscono la sua stabilità meccanica. I rimanenti orbitali $2p_z$ degli atomi di carbonio sui due sottoreticoli della struttura a nido d'ape danno origine alla banda di valenza più alta (π) e alla più bassa banda di conduzione (π^*), che, per simmetria, diventano degeneri agli spigoli della zona di Brillouin (BZ) realizzando in essi intersezioni coniche (vedi fig. 1). Tali punti sono convenzionalmente indicati con le lettere K e K' e sono chiamati punti di Dirac a causa dell' andamento lineare attorno ad essi, della energia elettronica in funzione del vettore d'onda. Questo implica che gli elettroni del gas bidimensionale formato dagli elettroni degli orbitali $2p_z$, al livello di Fermi, simulano il comportamento di particelle relativistiche a massa nulla, con velocità che è circa 300 volte più piccola della velocità della luce. Questo è un comportamento ben diverso da quello di elettroni con adamento parabolico dell'energia in funzione del vettore d'onda.

La relazione di dispersione lineare tra E e $\mathbf{k}$ ai punti di Dirac è alla base della interpretazione dei più importanti esperimenti sul grafene. Tra essi ricordiamo l'evidenza sperimentale dell'effetto Hall quantistico anomalo ove i plateau della conduttanza si presentano per valori seminteri del quanto di conduttanza fondamentale, il minimo della conduttività nel limite di concentrazione nulla dei portatori di carica, il ruolo delle impurezze estese e localizzate, lo "shot noise" di tipo diffusivo in campioni con gate metallici, il tunneling di Klein attraverso barriere spesse ed alte, la realizzazione di superlenti per la focalizzazione di fasci di elettroni.

Per le sue peculiari proprietà elettroniche e meccaniche, il grafene si sta imponendo non solo come collegamento tra la fisica della materia condensata e l'elettrodinamica quantisica, ma si sta affermando anche come candidato promettente su cui basare una nuova tecnologia elettronica e applicazioni ancora tutte da scoprire.

Tra le molte onorificenze e premi, Geim e Nosvoselov hanno ottenuto nel 2008 il

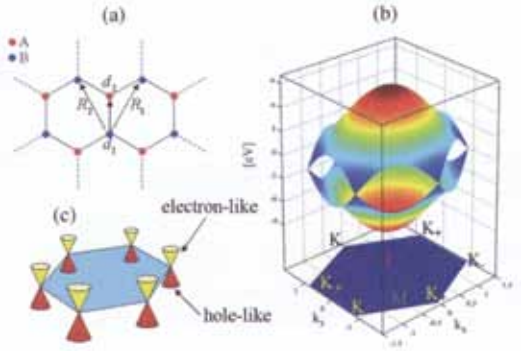


Fig. 1 (a) Il reticolo a nido d'ape del Grafene. (b) Bande di energia π e π^* e loro degenerazione ai vertici di BZ. (c) Intersezioni coniche delle bande ai punti di Dirac (tratto da A. Cresti, Il Nuovo Saggiatore 24, no. 5-6 (2008) p.17).

Premio della società Europea di Fisica, uno dei riconoscimenti più prestigiosi della Fisica della Materia Condensata in Europa che, come già nel caso di Z. I. Alferov (1978), di K. von Klitzing(1982), di G. K. Binnig e H. Rohrer (1984), di G. Bednorz e K. A. Mueller (1988) e di Albert Fert e Peter Gruenberg (1997), hanno preceduto l' assegnazione del Premio Nobel.

Andre Geim è famoso anche per aver ottenuto nel 2000, assieme a Michael Berry, il Premio "IgNobel", un umoristico premio americano attribuitogli per un esperimento di levitazione di una rana ("flying frog") in un potente campo magnetico.

Oltre agli studi sul grafene, Geim e Novoselov si sono distinti in altre importanti attività di ricerca appartenenti a diverse aree della materia condensata. Tra esse meritano di essere ricordate la misura della magnetizzazione di superconduttori mesoscopici, la rivelazione di variazioni nanometriche nella posizione dei confini dei domini nei materiali ferromagnetici e la dimostrazione di un nuovo microadesivo (geco tape) basato sulle interazioni di van der Waals.

Geim ha inoltre sviluppato la tecnica sperimentale della micromagnetometria in regime Hall balistico e ha messo a punto esperimenti di levitazione magnetica di notevole interesse sia per fini didattici che per ricerche effettuate in condizione di bassa gravità.

Giuseppe Grosso
Dipartimento di Fisica, Università di Pisa

FAST
Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche

Roberto Negrini (Presidente)
Prof. ordinario Politecnico di Milano

Stefano Rossini (Vicepresidente)
Presidente SCI Sezione Lombardia

Consiglieri:
Roberto Bacci
Direttore del CEI, Comitato elettrotecnico italiano
Giancarlo Bianchi
Presidente AIAS - Associazione professionale italiana ambiente sicurezza
Luisa Cifarelli
Presidente SIF, Società italiana di fisica e Università di Bologna
Giorgio Gavelli
Enea
Fabrizio Lain
Assolombarda
Carlo Marchisio
Presidente ANIPLA - Associazione nazionale italiana per l'automazione
Walter Nicodemi
AIM - Associazione italiana di metallurgia
Giovanni Palermo
Direttore AICA - Associazione italiana per l'informatica e il calcolo automatico
Sandra Rondinini
Università di Milano
Carlo Valtolina
Presidente del Collegio degli ingegneri e degli architetti di Milano

Collegio dei revisori dei conti:
Marta Saccaro, Alessandro Mascioli, Gilberto Ricci

PREMIO E MEDAGLIA THOMSON 2010

Il premio e la medaglia Thomson furono istituiti dall'Institute of Physics (IOP) nel 2008 per riconoscere importanti contributi alla fisica atomica e molecolare. Per il 2010 essi sono stati assegnati, e le sono stati consegnati il 30 settembre, a Gaetana Laricchia dell'University College di Londra "*Per i suoi contributi allo sviluppo dell'unico fascio di positronio esistente al mondo e per il suo impiego per sondare le proprietà di atomi e molecole.*" Nel 2009, G. Laricchia aveva già ricevuto il premio Occhialini, attribuitole congiuntamente dal IOP e SIF.

Il positronio fu scoperto nel 1951 da Martin Deutsch (1917-2002), un grande fisico che lavorò in Italia, nell'esperimento BOREXINO al Gran Sasso, negli ultimi anni della sua vita. Vorrei iniziare con il ricordarne il contributo.

Il positronio è un atomo formato da un elettrone ed un positrone, il più leggero atomo possibile ed il più semplice dal punto di vista teorico. Ma non è semplice sperimentalmente. La teoria prevedeva che un positrone che penetrasse nella materia, prima di annichilare, si legasse spesso con un elettrone formando appunto un sistema atomico. Lo stato fondamentale può avere momento angolare totale 0 (para-positronio) o 1 (orto-positronio). Per la conservazione della coniugazione di carica, nel primo caso, il singoletto, l'annichilazione avviene in due fotoni (511 keV ciascuno), nel secondo in tre. Di conseguenza la vita media del tripletto deve essere tre ordini di grandezza maggiore di quella del singoletto. Il calcolo dà rispettivamente 142 ns e 125 ps. La teoria prevedeva anche che la probabilità di annichilazione di un positrone libero in un gas dovesse essere proporzionale alla densità di elettroni; previsione confermata sperimentalmente nel 1949 da M. Deutsch.

Vite medie brevi come quella del para-positronio non erano misurabili in quegli anni. Per cercare se il positronio esistesse, M. Deutsch costruì un elegante apparato costituito, schematicamente, da una camera contenente un gas di cui si poteva variare, e misurare, la pressione, una sorgente di ^{22}Na che decade β^+ seguito, entro picosecondi, da un gamma di 1.27 MeV, rivelato da un contatore, un secondo contatore, schermato dalla sorgente, che rivela il fotone da 511 keV dell'annichilazione del positrone e, infine, un orologio per misurare il tempo tra i due. Quest'ultimo è il tempo necessario perché il positrone perda energia sino a fermarsi ed ad annichilarsi con un elettrone.

Con quest'apparato Deutsch osservò, all'inizio del 1951, che nei gas la cui molecola contiene un numero pari di elettroni accoppiati a spin totale nullo (come N_2) c'era un'importante componente di 0.14 μs quasi indipendente dalla pressione. Con l'introduzione di una piccola quantità di NO (la cui molecola contiene un numero dispari di elettroni), questa componente scomparve. Deutsch aveva eliminato la componente di lunga vita media introducendo molecole che favoriscono la conversione di orto-positronio in para-positronio. Nello stesso anno, Deutsch misurò la vita media dell'orto-positronio e, negli anni che seguirono, la sua struttura fine con precisione sino a 1/5000, confermando le previsioni della QED.

Alla metà degli anni 1980, G. Laricchia realizzò all'University College di Londra il primo, ed al momento unico, fascio di orto-positronio di energia cinetica definita e aggiustabile, tipicamente tra 10 e 100 eV. A queste energie l'orto-positronio percorre in una vita media qualche decina di centimetri, mentre il para, se presente, scompare in una frazione di millimetro.

In breve l'apparato è realizzato come segue. I positroni da una sorgente β^+ di ^{22}Na (lo stesso isotopo usato da Deutsch) vengono moderati con un film di cripto e successivamente guidati da un campo magnetico assiale in una cella che contiene un gas opportuno, He e Ar nei primi esperimenti, successivamente H_2. A volte, di fatto abbastanza spesso a pressioni dell'ordine del Pa, un positrone del fascio cattura un elettrone atomico (molecolare) con cui si lega a formare il positronio. La sezione d'urto del processo è grande in avanti e quindi il positronio tende ad avere la direzione del positrone che l'ha prodotto. All'uscita della cella, opportuni elettrodi frenano i positroni e il fascio, neutro, di positronio è pronto. Esso penetra quindi nella cella di diffusione contenente il gas bersaglio. L'apparato è completato da una serie di rivelatori per misurare il tempo di volo delle particelle del fascio e quindi la loro energia, l'angolo di deflessione e l'energia del positronio diffuso e di avere informazioni sul suo stato (fondamentale o eccitato). Il fascio di orto-positronio ha complessivamente una lunghezza di una trentina di centimetri.

Con quest'apparato G. Laricchia ed i suoi collaboratori eseguirono una serie di misure che sfruttavano le caratteristiche uniche del nuovo strumento (proiettili neutri di massa doppia dell'elettrone) per sondare proprietà di atomi e molecole. Furono misurate sezioni d'urto totali e differenziali su differenti bersagli sia elastiche sia anelastiche, incluse quelle con dissociazione del positronio.

A. Bettini
Università degli Studi di Padova

III CENTENARIO DI LAURA BASSI

Nel 2011 cade il III centenario della nascita di Laura Bassi (1711-1778), prima donna a ottenere una cattedra universitaria in Europa.

Donna di eccezionale ingegno, ugualmente dotata in materie umanistiche e in logica, metafisica e filosofia naturale (che all'epoca comprendevano fisica, algebra e geometria), Laura Bassi conseguì la laurea in filosofia nel 1732 all'età di 21 anni e due anni più tardi le fu assegnata la cattedra a Bologna, sua città natale.

La disciplina che Laura Bassi insegnò per quasi 30 anni, prima nella scuola allestita nel proprio laboratorio domestico, quindi, nell'Istituto delle Scienze di Bologna, era la fisica sperimentale. Durante la sua carriera progettò ed effettuò numerosi esperimenti su diversi aspetti della fisica e pubblicò 28 articoli scientifici, la maggioranza dei quali su temi di fisica ed idraulica. Laura Bassi si adoperò per la diffusione del metodo sperimentale e per l'insegnamento sperimentale della fisica. In particolare era interessata alla fisica newtoniana ed ebbe quindi un ruolo chiave nell'affermazione delle idee di Newton in Italia, come riconoscono le storiche e gli storici, italiani e stranieri, che negli ultimi anni le hanno dedicato numerosi e innovativi studi.

Diverse sono le iniziative che si stanno organizzando all'Università di Bologna per ricordare la sua figura. La SIF ha in programma la preparazione di un volume che, a partire dal catalogo della strumentazione dell'antico gabinetto di Fisica della Bassi, ne ricostruisca le fattezze e funzionalità, inserendolo nella fisica del suo tempo.

L. Cifarelli
Università degli Studi di Bologna
A. Oleandri
Società Italiana di Fisica

INTERVISTA A
ALESSANDRO CLERICI

Laureato al Politecnico di Milano intraprende poi una lunga carriera ai vertici di prestigiosi centri di ricerca (CESI) e in gruppi multinazionali (SADE-Sadelmi di GE, ABB) attivi nel settore dell'energia, nel cui ambito ha sviluppato sistemi elettrici in una cinquantina di paesi del mondo. È stato molto attivo anche nel campo associativo e tecnico scientifico (World Energy Council, IEEE, FAST, AEIT) e industriale (Confindustria, ANIE, Assolombarda). È un assiduo divulgatore a livello internazionale con conferenze ed oltre 300 articoli sui temi dell'energia e dell'ambiente. È attualmente Senior Advisor di ABB Italia e Presidente Onorario di WEC Italia e di FAST.

IL NUCLEARE: NON È LA SOLUZIONE MA FA PARTE DELLA SOLUZIONE AI PROBLEMI ENERGETICI E AMBIENTALI

Il Governo ha inserito il nucleare nel suo programma, con la promessa di dare presto il via alla prima centrale. Con che tempi l'Italia sarà capace di dotarsi di energia nucleare?

Prima del 2020 sarà difficile avere in Italia un contributo dal nucleare. Considerando i tempi previsti dal D.L. n° 31 del 15/02/2010 sui siti e supponendo di avere già funzionante l'Agenzia Nucleare e che tutti gli adempimenti previsti/prescritti risultino puntuali, prima di 3 anni non ci potrà essere la certificazione di un sito. A questa dovranno seguire l'autorizzazione alla costruzione e all'esercizio, indispensabili per un "financial closing" di un investimento che si aggira sui 5 miliardi di € per una centrale nucleare da 1700 MW. Una volta definite tutte le autorizzazioni e procedure, i tempi di costruzione (dal getto iniziale di calcestruzzo alla connessione alla rete) sono di circa 6 anni per la prima unità di un sito "green field"; per unità successive il tempo può essere ridotto.

A causa dell'"escalation" dei prezzi delle materie prime e della forte domanda, i costi di una centrale EPR[1] sono oggi molto più alti di quelli iniziali dei progetti francese e finlandese. Il costo del MWh da nucleare è ancora conveniente?

Per il nucleare il costo del MWh è nettamente legato all'investimento e scarsamente influenzato da prezzi dell'uranio anche 3 volte oltre quelli attuali. Il carbone è chiaramente conveniente se non viene valorizzata la CO_2; ma con una penalizzazione per emissione di CO_2 pari a 50 €/ton, anche con bassi prezzi del carbone, questo costo si attesta oltre i 100 €/MWh, ben superiore a quello del nucleare nelle peggiori delle ipotesi (76 €/MWh).

L'energia elettrica dalle principali nuove rinnovabili è nettamente più costosa, specie per il solare (oltre 230 €/MWh, anche per grossi impianti e per le condizioni più favorevoli di insolazione). Chiaramente il confronto tra i dati delle centrali di base e quelli da rinnovabili vedrebbe in ogni caso due tipologie di energia ben diverse; quella convenzionale è programmabile in funzione delle richieste del carico mentre quella da rinnovabili è aleatoria, richiedendo costi addizionali per l'indispensabile potenza di riserva programmabile e per l'energia di bilanciamento da centrali convenzionali.

Quali sono i punti di forza del programma nucleare italiano?

Il nucleare è un'opzione economicamente interessante per ridurre le emissioni di CO_2. Altri vantaggi riguardano la sicurezza degli approvvigionamenti, la non volatilità dei prezzi dell'energia e la ricaduta su un'industria italiana che, opportunamente qualificata a lavorare in garanzia di qualità, potrebbe contribuire fino ad un 75% del valore di una centrale di 5 miliardi di € con forniture per ingegneria di dettaglio, opere civili, sistemi e componenti termo-elettromeccanici ed installazioni. Ciò porterebbe a sostituire costi all'estero di materie prime energetiche con lavoro e forniture italiane alle quali verrebbe anche aperto l'interessante mercato estero, che vede attualmente 60 reattori in costruzione.

E quali quelli più critici?

Il rischio per il nucleare in Italia è quello della finanziabilità, legata a stabilità politica e legislativa e alla tempistica delle autorizzazioni. E questo significa accettabilità non solo a livello statistico e nazionale, ma anche a livello regionale e locale dove dovranno essere realizzate le centrali e i siti di stoccaggio delle scorie, incluse quelle ad alta radioattività. Il consenso deve anche essere duraturo nel tempo e quindi bipartisan e di tutti i principali "stakeholders".

Per il successo di un eventuale piano energetico in Italia e nucleare, in particolare, è essenziale la massima trasparenza e informare i cittadini in maniera capillare, responsabile, focalizzandosi sui problemi dell'energia e dell'ambiente e non sul solo nucleare. Proprio questa fase, purtroppo, non è ancora iniziata in modo sistematico.

L'opposizione al nucleare, dopo Chernobyl, si è spostata dal rischio di incidente al problema del "decommissioning" delle centrali e del ciclo del combustibile con particolare risalto al cimitero finale delle scorie. Come si presenta attualmente il problema delle scorie?

Per il rilevante problema delle scorie e della loro entità occorrerebbe portare a conoscenza le varie alternative e cosa si fa negli altri paesi. È interessante il caso svedese che ha visto due regioni battersi l'una contro l'altra per ottenere sul proprio territorio il cimitero finale delle scorie ora assegnato alla città di Forsmark. Per le scorie ad alta radioattività, occorrerebbe sottolineare i loro esigui volumi e l'evoluzione della situazione internazionale dove la Russia recentemente si è dichiarata disposta a ritirarle ed utilizzarle in futuro come combustibile per i reattori della IV Generazione

Questo dell'informazione e del consenso mi sembra un punto molto importante. Quanto importante?

Un'adeguata informazione sui problemi di energia e ambiente, dalla quale emergesse l'importanza del nucleare, avrebbe dovuto essere prioritaria ma non ha purtroppo fatto seguito ai messaggi iniziali di rinascita di un nucleare in Italia; è fondamentale partire al più presto.

Un'informazione basata su dati e fatti, trasparenza delle istituzioni e pubblici dibattiti sono gli strumenti per comunicare e far comprendere alle persone i problemi energetici ed hanno portato al supporto pubblico dell'energia nucleare in paesi come Francia, Svezia e Finlandia; e si è rilevato che le popolazioni vogliono essere coinvolte non a decisioni prese ma in fase di "decision making".

Occorre che l'informazione sia veicolata da enti e figure credibili, con chiare capacità di comunicazione, portando le persone a ragionare su dati, fatti e costi (inclusi quelli ambientali).

Il consenso va costruito con una trasparente ed efficace campagna di informazione e formazione che porti dati e fatti da discutere apertamente e facendo in modo che possano essere "digeriti"; un'eccessiva spinta a velocizzare i tempi potrebbe risultare deleteria. Esempi di tempistica pluridecennale al cambiamento del consenso nel settore vengono dalla Svezia e dalla Finlandia che pure hanno in servizio centrali nucleari.

E. De Sanctis

[1] Evolutionary Pressurized Reactor.

INFELICI LUOGHI COMUNI

Caro Direttore,
qualche giorno fa, nel corso della trasmissione *Prima Pagina* su Radio3, nel commentare i problemi che affliggono l'università italiana, il conduttore G. Riotta sosteneva che i corsi di laurea in Fisica, disciplina nella quale in passato il nostro paese si è distinto con altissimi contributi, sarebbero oggi in crisi come dimostrato da aule tristemente deserte.

Avendo presieduto per anni il Consiglio d'Area Didattica in Fisica del mio ateneo, ho ritenuto doveroso replicare a queste affermazioni, che non rispondono alla realtà dei fatti, anche per difendere l'impegno col quale la comunità dei fisici italiani ha lavorato negli ultimi anni per recuperare l'interesse dei giovani studenti per la Fisica e per le altre materie scientifiche ed arginare la "crisi delle vocazioni" per le lauree scientifiche manifestatasi negli anni Novanta.

Come dimostra il grafico sotto riportato, pubblicato dal *Consorzio AlmaLaurea* di Bologna, dopo un minimo toccato nel 2000, gli immatricolati ai corsi di laurea in Fisica, Chimica e Matematica sono in lenta ma costante ripresa.

Alla Sapienza, Università di Roma, nel presente anno accademico (2010/2011) ci sono oltre 300 immatricolati nella classe Fisica, contro i 179 del 2000/2001.

Non si può evitare di notare che il 2001 sia l'anno di entrata in vigore della riforma del 3+2, additata da molti come la causa principale di tutti i mali dell'università. Questo dimostra di nuovo come i media preferiscano spesso i luoghi comuni ad una analisi dettagliata di un sistema complesso, ma decisivo per il futuro del paese, come quello dell'università.

Per citare altri esempi di scarsa attenzione, mentre da un lato i media si focalizzano continuamente sulle classifiche generali come quella del *QS World University Ranking*, nella quale le università italiane faticano a entrare nelle prime 200, dall'altro omettono sistematicamente di citare altre graduatorie, come ad esempio quella suddivisa per facoltà della stessa *QS*, nella quale la Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali della Sapienza si colloca al 30° posto nel mondo, o le classifiche che analizzano l'eccellenza scientifica, come quella tedesca del *CHE Ranking* per la Fisica, nella quale tra i 70 dipartimenti di Fisica europei definiti "eccellenti" compaiono ben otto dipartimenti italiani.

Questo non vuol dire che il futuro sia roseo o privo di elementi di preoccupazione: l'eccellente livello didattico e scientifico della Fisica, comune a molti dipartimenti italiani, è messo seriamente in pericolo dai tagli lineari applicati indiscriminatamente alla spesa per l'Università.

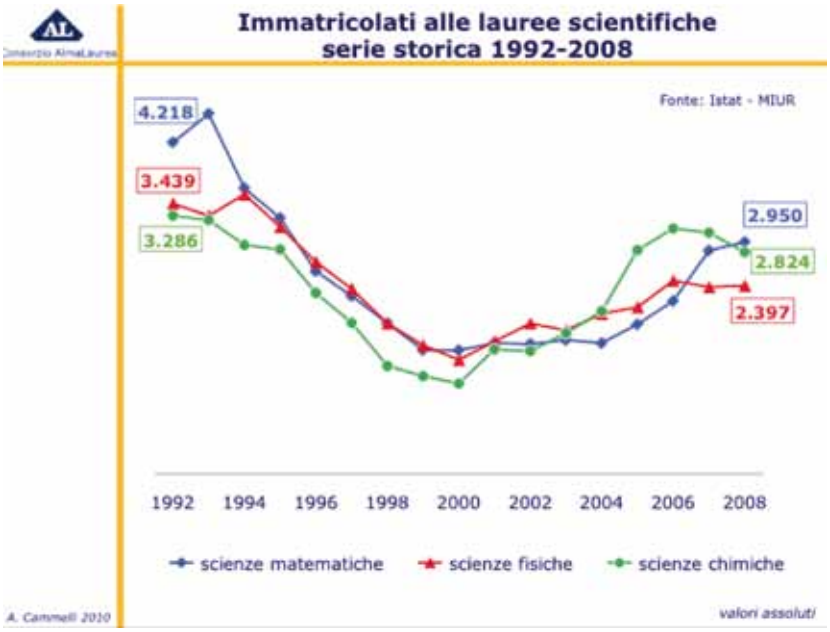
Per fare un esempio, a causa dei pensionamenti e del blocco del turnover, già nel prossimo anno accademico a Roma non saremo in grado di coprire gli insegnamenti fondamentali di ben 3 indirizzi su 7 della nostra laurea magistrale. Nei prossimi anni saremo costretti inoltre a ridurre il numero di canali paralleli nei primi anni della laurea triennale, col risultato di avere aule sovraffollate (e non certo deserte), a scapito di una didattica capillare basata su un rapporto diretto tra docenti ed allievi, che è parte del successo riscontrato dai nostri corsi in questi ultimi anni.

Concludevo invitando il conduttore, anche in qualità di direttore di un grande giornale nazionale, ad approfondire questi temi, ma ho ricevuto solo, in privato, una risposta superficiale e liquidatoria.

Sappiamo come sia difficile ottenere dai mezzi di informazione attenzione su problemi complessi, difficilmente traducibili in titoli ad effetto. Dobbiamo però anche avere coscienza del ruolo dei media nell'orientare l'opinione pubblica e l'agenda politica su argomenti decisivi per lo sviluppo scientifico e tecnologico del nostro paese. È quindi una nostra precisa responsabilità non rinunciare a farci sentire.

Egidio Longo
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma

OPINIONI Online First
5 novembre 2010



ETTORE MAJORANA SUL PIROSCAFO

Caro Direttore,
il quotidiano nazionale *la Repubblica*, nella sua edizione di domenica 17 ottobre, ha pubblicato con grande rilievo un articolo, secondo cui il noto fisico teorico Ettore Majorana, al momento della sua scomparsa nel 1938, si sarebbe trasferito in Germania per lavorare con gli scienziati tedeschi alle armi segrete del Terzo Reich, e successivamente, nel 1950, sarebbe stato fotografato insieme con il criminale nazista Adolf Eichmann, in fuga dall'Europa su una nave in rotta verso l'Argentina. Nei giorni successivi *Repubblica* ha ospitato una lettera del Presidente della Società Italiana di Fisica, in cui si sollevavano critiche sostanziali sulla fondatezza di queste ipotesi. Prima di intervenire sull'argomento, abbiamo atteso alcuni giorni, certi che si sarebbe arrivati a una smentita delle presunte rivelazioni su Majorana. Questo non è avvenuto, per cui riteniamo opportuno fornire alla comunità dei fisici alcune considerazioni di fatto, che mostrano che il contenuto dell'articolo di *Repubblica* è completamente destituito di ogni fondamento. Qui ci limitiamo a una breve sintesi. Una presentazione più estesa e dettagliata si può trovare nella sezione Online First de Il Nuovo Saggiatore alla URL:
`http://www.sif.it/SIF/resources/public/files/opinioni/op_1011_guerra_robotti.pdf`

Il contenuto dell'articolo di *Repubblica* è basato su presunte rivelazioni fornite dal Prof. Giorgio Dragoni dell'Università di Bologna. Il riconoscimento fotografico riguarda una immagine, che è stata pubblicata nel libro di Simon Wiesenthal dal titolo *Giustizia, non vendetta*, la cui prima edizione in italiano, presso Le Scie, risale al 1989. Riportiamo la foto nella fig. 1, in una versione facilmente rintracciabile su internet.

L'articolo è corredato da uno schema identificativo, riportato in fig. 2, in cui il volto dello sconosciuto, alla destra di Eichmann, è paragonato con il volto di Ettore Majorana, nella scala verticale opportuna, seguendo i riferimenti delle linee

orizzontali allineate all'estremo superiore delle orecchie, agli occhi, alla base del naso, alle labbra e al mento. L'estremo inferiore delle orecchie non viene considerato. La seconda dimensione utilizzabile dell'immagine fotografica, quella trasversale, viene trascurata. Agli effetti di questo riconoscimento Dragoni si sarebbe rivolto alla più prestigiosa istituzione italiana in fatto di indagini scientifico-forensi. Quale sia questa prestigiosa istituzione non viene detto. L'esistenza di un rapporto dettagliato firmato non viene assicurata, né vengono citati i nomi di chi abbia disposto l'indagine e di chi ne sia il responsabile.

In realtà, senza nessuna indagine forense, chiunque si accorge del fatto che l'uomo alla destra di Adolf Eichmann ed Ettore Majorana sono due persone completamente diverse. Innanzitutto, lo sconosciuto chiaramente non è siciliano (ricordiamo che l'aspetto di Majorana è stato qualificato come "saraceno"). La foto di Majorana è stata opportunamente riscalata in modo da poter paragonare le linee orizzontali. In questo modo però non si ha corrispondenza con le dimensioni trasversali. Si noti di quanto più larga sia la parte superiore della testa dello sconosciuto, rispetto a quella di Majorana. Se si riscala l'immagine secondo le dimensioni trasversali, in modo che si abbia congruenza tra i due crani, allora si perde completamente la corrispondenza delle linee orizzontali tracciate sui due volti. Rilevante è inoltre la differenza marcata delle orecchie, e l'andamento generale delle spalle.

D'altra parte, dalle ricostruzioni storiche della fuga di Eichmann in Argentina, avvenuta nel giugno-luglio 1950 con il piroscafo *Giovanna C* in partenza da Genova, sappiamo che Eichmann era accompagnato da due SS, una delle quali era lo Sturmführer Herbert Kuhlmann, che potrebbe essere identificato con lo sconosciuto alla sua sinistra nella foto. Per quanto riguarda l'individuo alla destra di Eichmann, egli non è certamente un "saraceno", ma ha un aspetto nordico. Volendo azzardare un "riconoscimento", date le circostanze della foto, si potrebbe pensare ad uno dei tanti ufficiali SS collaboratori e sodali di Eichmann, come per esempio Gustav Wagner, oppure Alois Brunner. Nella versione Online First abbiamo riportato foto di Kuhlmann, Wagner, e Brunner.

Queste considerazioni, relative all'insensatezza dell'idea che la persona alla destra di Eichmann sia Majorana, valgono indipendentemente dall'esistenza di una presunta perizia firmata da parte della prestigiosa istituzione. Uno dei nodi centrali dell'articolo è costituito dalla scoperta che lo sconosciuto è Majorana. Questo riconoscimento, come abbiamo visto, è completamente infondato.

Risulta poi sconcertante l'uso fatto da Dragoni di una lettera scritta da Gilberto Bernardini a Giovanni Gentile jr, conservata nel fondo archivistico "Giovanni Gentile jr", depositato a cura della Famiglia Gentile presso il Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma "La Sapienza", che è stata pubblicata per la prima volta in una nostra monografia del 2008, dedicata all'attività scientifica e accademica di Ettore Majorana, edita dalle Edizioni della Scuola Normale Superiore di Pisa.

La parte più significativa della lettera, di cui forniamo la prima pagina nella sezione Online First, è costituita dalle frasi iniziali: "Caro Giovanni, come puoi immaginare la notizia di Majorana mi ha dato una vera gioia. Non è molto bello forse, ma in compenso non è una cosa così tragica come si pensava e ci se ne può rallegrare". Anche se la lettera è senza data, dai contenuti scientifici in essa riportati abbiamo potuto concludere che è stata scritta verso Aprile-Maggio 1938, ed è quindi posteriore alla scomparsa di Majorana.

Dragoni afferma che nel 1974 avrebbe intervistato Gilberto Bernardini, all'epoca Direttore della Scuola Normale Superiore di Pisa, mostrandogli la lettera, e chiedendo "un chiarimento su quelle righe enigmatiche". Gilberto Bernardini avrebbe risposto: "Lei sa che io conosco la scelta fatta da Majorana? Non è una scelta che le farà piacere. Ettore si trasferì in Germania per collaborare alle armi del Terzo Reich". Ma nel 1974 Dragoni di certo non conosceva ancora la lettera, in quanto, come da lui stesso ammesso in un suo libro recentemente pubblicato nel 2009, ne era venuto a conoscenza solo tramite la nostra monografia.

D'altra parte, è impossibile che Bernardini potesse sapere di un presunto coinvolgimento di Majorana sulle armi del Terzo Reich, assolutamente ignoto ai servizi segreti degli Alleati, che durante i combattimenti nel 1944 e 1945, e dopo la resa, avevano accuratamente setacciato l'intera Germania alla ricerca di informazioni relative alle ricerche tedesche sulle armi. Gli interi archivi furono sequestrati. In particolare la Missione Alsos si occupò delle ricerche nucleari. Inoltre tutti i maggiori scienziati tedeschi coinvolti nella ricerca nucleare furono trattenuti a Farm Hall per sei mesi, nel 1945, allo scopo di ottenere tutte le possibili informazioni, anche tramite l'uso di microfoni nascosti.

Rinviando alla versione più completa su Online First, possiamo concludere che il riconoscimento fotografico è inimmaginabile e che le presunte rivelazioni di Bernardini sono completamente infondate, per cui il contenuto dell'articolo di *Repubblica* è totalmente destituito di ogni fondamento.

Solo le future ricerche storiche, sulla base di inoppugnabili documenti, potranno risolvere il problema del destino di Majorana. La Storia della Fisica è una disciplina seria, e va condotta con le necessarie norme di rigore scientifico e correttezza deontologica.

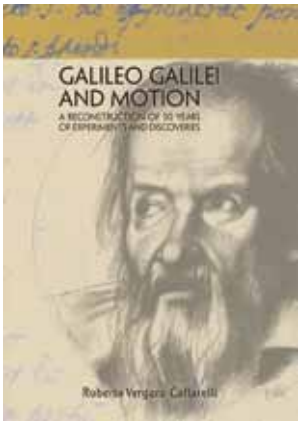
Fig. 1 Eichmann è al centro accompagnato da due passeggeri anonimi.

Fig. 2 Il presunto riconoscimento di Majorana nel volto dello sconosciuto alla destra di Eichmann.

Francesco Guerra e Nadia Robotti

Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma,
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Sezione di Roma 1,
e Dipartimento di Fisica, Università di Genova

OPINIONI Online First
15 novembre 2010



R. Vergara Caffarelli, Galileo Galilei and Motion. A Reconstruction of 50 years of Experiments and Discoveries. SIF, Bologna; Springer Berlin 2009, pp. 304; € 99,95

Galileo's towering achievements in physics are embodied in two laws. The first says that all objects falling from rest accelerate at a constant speed regardless of their weight and that the distance they cover is proportional to the square of the time they fall (this is conveyed in the familiar equation: $s = ½\ g\ t^2$, where *s* stands for the space, *g* for the force of gravity and *t* for time). The second law states that the path of a projectile is always a parabola. Put together, these two of laws later enabled Newton to formulate his famous laws of motion that became the foundation of mechanics and revoluzioned our way of interpreting the physical world.

Historians of science have been fascinated by Galileo's major breakthroughs but it is only in recent years that they have come to grips with their genesis, and with Roberto Vergara Caffarelli's *Galileo Galilei and Motion* we finally have a scholarly reconstruction of Galileo's actual procedure. Vergara Caffarelli's major contribution is his penetrating analysis of the original work that Galileo carried out after his condemnation by the Church in 1633. Although seventy years old and gradually becoming blind, he did not allow himself to become dejected but embarked on the difficult problem of percussion and developed a new field of research. His method, which is as simple as it is ingenious, consisted in suspending two equal masses from a cord astride a pulley. I shall give once instance to provide the reader with an idea of the neatness and simplicity of Galileo's experiments. In the first one, after observing that the two masses were stationary when suspended from the ends of the cord, he gave one of them a downward push, and discovered that the two bodies moved together in *uniform* motion, one rising and the other descending, with the velocity imparted by the push. This confirmed that the principle of inertia operated even in the case when the motion was vertical because the heaviness of one weight cancelled the heaviness of the other. In a second experiment, Galileo supported one of the two masses on a bench, and lifted the other to a preset height. When he let it fall, it rushed downward until the cord became taut and its acceleration was suddenly halted by the other mass that was being pulled up by the cord. The interesting fact was that both masses now moved with *uniform* motion as in the previous experiment.

Galileo's equipment was reconstructed by Vergara Caffarelli and the experiments repeated with great care and precision. It is difficult to travel back four centuries in time in an attempt to understand the science of that age and in the hope of learning how novel Galileo's approach was. Vergara Caffarelli manages to do this and he gives us an insight into the kind of problems that Galileo confronted and the brilliance with which he tackled them. Galileo's research when he was a young university professor in Padua was carried out with the aid of the pendulum and the inclined plane, and Vergara Caffarelli explains in great detail how he proceeded. In the light of his careful study of Galileo's manuscript notes, Vergara Caffarelli reproduced the great scientist's crucial experiments with balls rolling down an inclined plane. The result is interesting inasmuch as it shows that Galileo's was able to measure distances with a precision of one *punto*, a unit that Vergara Caffarelli determined as about 2.3 mm. It should be noted that a value of 0.94 mm had formerly been accepted for the *punto*. This rendered Galileo's precision too good to be true; the new value makes it genuinely admirable.

The correct interpretation of the nature of motion was necessary to reply to objections that were commonly made against Copernicanism. Of course, we cannot experiment with a planet (however small) that revolves around a central body, but Galileo was able to work out the properties of bodies in motion in an enclosed space such as the windowless cabin of a ship. Whether the ship is at rest in a harbour or moving at constant speed on a calm sea, objects that are thrown or dropped inside the cabin will follow the same horizontal or vertical path. In other words, for people inside the cabin there is no way of knowing whether the ship is moving or at rest. This is what we now call Galilean relativity about which Vergara Caffarelli has much to say.

Galileo Galilei and Motion is not an easy book to read for someone who is not acquainted with the physics of motion, but it should have its place on the bookshelves of anyone interested in Galileo and his outstanding contribution to the Scientific Revolution of the seventeenth century.

W. Shea

R. Piazza – La materia dei sogni. Sbirciatina su un mondo di cose soffici (lettore compreso). Springer-Verlag Italia S.r.l. Milano, 2010; pp. VIII + 306; € 24,00

Il libro – mi diceva tanti anni fa Giuseppe Pontiggia nella sua casa strapiena di volumi – è come un interlocutore. Ma rispetto a chi ti parla in carne ed ossa il libro ha un pregio: appena comincia ad annoiarti lo chiudi: lo releghi in uno scaffale e lui non si offende. E aggiungeva: quando un libro esposto in libreria mi sembra interessante, lo acquisto solo se sono ragionevolmente sicuro di poterlo sfogliare il giorno stesso, prima di addormentarmi.

Il libro di Roberto Piazza mi è apparso subito interessante. Dal momento in cui mi è capitato tra le mani ho iniziato a centellinarlo, giorno dopo giorno, senza saltare nessuna delle sue 306 pagine.

Il libro invita un'ampia ed eterogenea varietà di lettori a un viaggio nella "terra di mezzo", collocata tra il turbinio nanoscopico degli atomi e delle molecole e il mondo macroscopico delle cose che abbiamo sotto gli occhi tutti i giorni. Proietta su queste cose una luce nuova, illustrandone la struttura, la dinamica interna e le funzioni, e svelando giocosamente con semplici esempi i meccanismi alla base del loro comportamento. Ci conduce nel mondo mesoscopico, fatto di colloidi (sospensioni di particelle solide in un liquido), di aerosoli (sospensioni di particelle solide in un gas), di tensioattivi anfifilici che amano e al tempo stesso odiano l'acqua, e nell'acqua tendono ad aggregarsi sotto forma di micelle o vescicole, e in aggiunta di olio formano emulsioni. Ci invita a giocare mentalmente con un lego mesoscopico fatto di polimeri e copolimeri, ovvero di lunghe catene di monomeri tenute assieme da forze molecolari o di van der Waals o da forze elettrostatiche: macromolecole le quali, un po' come gli spaghetti, si aggregano nella famiglia delle plastiche. Una famiglia numerosa, questa: polipropilene, polibutadiene, polietilene, poliestere, mylar, resina metamminica, polistirene, polisolfone, polipropilene, polivinilcloruro, policarbonato, nylon, polimetilmetacrilato o plexiglas, politetrafluoroetilene o teflon, poliisoprene o gomma, e via elencando nomi noti e meno noti che si caricano di significato in virtù delle proprietà, del comportamento e delle possibili applicazioni delle strutture da essi contrassegnate.

Belle le pagine sulla pressione osmotica e sull'osmosi inversa. Sull'impaccamento degli atomi e delle molecole nelle strutture, controllato da fattori geometrici ed entropici. Sull'entropia, che ci viene argutamente presentata in termini di libertà di movimento: con un intrigante esempio di cristalli colloidali i quali all'equilibrio termodinamico – notoriamente caratterizzato dal massimo disordine –, ancorché in assenza di forze

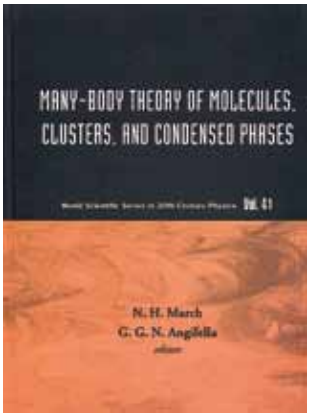
attrattive tra le particelle costitutive si ordinano proprio in quanto è la configurazione ordinata a consentire a queste ultime la massima libertà di movimento. Sull'energia libera quale massima quantità di energia liberamente utilizzabile per produrre lavoro una volta che sia stato pagato il pizzo all'entropia.

A mano a mano che, coi capitoli finali sulla materia biologica – DNA, aminoacidi e ruolo fondamentale del legame peptidico nella costruzione delle proteine, cellule … – ci si avvicina all'epilogo, le difficoltà di lettura aumentano, soprattutto a causa della complessità della materia trattata. C'è chi propone che una misura della complessità di una struttura possa essere fornita dal numero minimo di parole necessarie per descrivere la struttura stessa. La passione e la competenza con cui queste pagine sono state scritte cercando di minimizzare il numero delle parole meritano attenzione e impegno da parte dei lettori cui l'autore affabilmente si rivolge nelle primissime pagine del libro. Probabilmente non tutti gli invitati a esplorare la terra di mezzo porteranno a termine il viaggio. Quasi certamente però i lettori, ripensando ai temi trattati e ai tanti fenomeni vivacemente analizzati, prima o poi torneranno a riaprirlo e consultarlo, quel libro relegato nello scaffale.

Questo di Roberto Piazza è un libro istruttivo e stimolante. Ma è anche inquietante. Per decenni mi sono dedicato alla ricerca e alla didattica sulla fisica della materia. Eppure non mi ero mai imbattuto in un interlocutore che con garbo, invitandomi a seguirlo in un viaggio nella "materia dei sogni", mi ha aperto gli occhi: facendomi capire e anche, con tanti efficaci esempi, facendomi percepire quanto ricca, ampia, articolata e meritevole di riflessione e di indagine è la varietà dei materiali soffici sintetizzati nei laboratori e dei materiali soffici di cui noi stessi siamo fatti.

G. Caglioti

N. H. March and G. G. N. Angilella (Editors) – Many-Body Theory of Molecules, Clusters, and Condensed Phases. World Scientific Series in 20th Century Physics, Vol. 41, New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai, 2010; pp. XXI + 882; $158.00



Il volume raccoglie numerosi articoli di Norman March, suddivisi in sezioni tematiche e distribuiti lungo circa 56 anni di attività scientifica.

Le tre parti del volume sono dedicate a tre filoni di ricerca distinti, permettendo una suddivisione logica dei 112 lavori presentati in sei sottosezioni, tra le quali non mancano naturalmente interrelazioni e dipendenze.

In ciascuna sezione l'ordinamento cronologico fa rivivere al lettore un'evoluzione temporale che porta dagli anni '60 ai giorni nostri. La lettura di queste quasi 900 pagine risulta quindi decisamente avvincente, oltre ad essere di particolare interesse pedagogico-formativo.

Il carattere "educativo" della lettura di questi lavori di Norman March include anche alcune caratteristiche purtroppo sempre più rare nella letteratura scientifica contemporanea: oltre all'estrema chiarezza e sintesi nella presentazione, salta all'occhio il fatto che solo 7 dei 112 lavori sono firmati da più di tre autori: per la grande maggioranza (63) si tratta di lavori di Norman March con un singolo collaboratore, e 19 sono lavori a firma singola.

Nella prima sezione, dedicata al fenomeno della cristallizzazione del gas di elettroni a bassa densità (cristallo di Wigner), il lettore è introdotto subito, con il lavoro del 1958 (1.1), alle importanti conseguenze che discendono, con eleganza, dal teorema del viriale. Lo stesso teorema, nella sua versione differenziale, costituirà una delle pietre miliari poste da Norman March nella costruzione dei propri importanti contributi allo studio del gas di elettroni tramite la teoria della matrice densità (contributi che appaiono in gran parte nella successiva sezione 3.b).

La prima sezione continua con una serie di articoli, di lettura particolarmente piacevole, che ripercorre l'intero sviluppo della teoria del cristallo di Wigner sia in assenza che in presenza di campo magnetico. In questa come nelle altre sezioni, l'interplay tra teoria ed esperimenti è particolarmente evidente (un'altra importante lezione!), un esempio tra tutti i lavori (1.4) e (1.5) dei tardi anni '60. La sequenza dei lavori presentati porta il lettore attraverso le numerose tappe dello sviluppo della teoria, inclusi gli effetti termodinamici, gli effetti della dimensionalità, e infine l'estensione al caso di particelle bosoniche (lavoro (1.24) del 2005 sulle "Wigner molecules", oggi di attualità per la BEC).

Il lavoro conclusivo di questa sezione (1.26, del 2006) offre una interessante panoramica, includendo gli sviluppi più recenti e il caso di sistemi con statistica frazionaria ("anyons")

Di particolare interesse pedagogico, in questa sezione, sono i diversi articoli di rassegna: da quello del 1975 (lavoro 1.6 con C. M. Care), a quello del 1989 con M. J. Lea (1.10), che include la trattazione in presenza di campo magnetico, al lavoro di rassegna più generale sul ruolo della correlazione elettronica in molecole e solidi (1.19 del 1994 con G. Senatore), nel quale emerge anche il ruolo sempre più rilevante delle simulazioni numeriche.

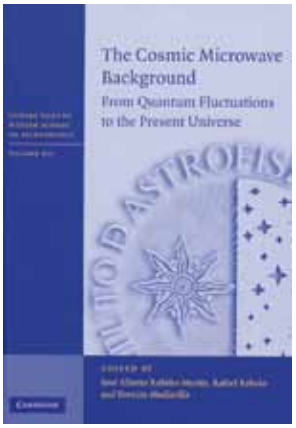
La crescente importanza del ruolo delle simulazioni numeriche traspare chiaramente anche nello sviluppo storico della teoria dei metalli liquidi, che costituisce l'argomento della sezione 2 del volume.

In particolare, la sezione (2.a) è focalizzata sul problema del fattore di struttura atomico e dei potenziali a due corpi, mentre la sezione (2.b) raccoglie i lavori dedicati agli effetti di correlazione elettronica nei metalli liquidi.

Nella sezione 2, che attiene a un campo di ricerca che – com'è ben noto – è stato uno dei cavalli di battaglia di alcuni tra i più brillanti fisici teorici italiani di Fisica della Materia nel gli anni '60-'80, emerge in maniera particolarmente evidente il fascino di un'attività teorica nella quale molti aspetti fondamentali vengono a poco a poco chiariti e sviluppati attraverso un interplay tra meccanica quantistica, teoria a molti corpi, meccanica statistica classica, esperimenti di diffrazione e simulazioni numeriche al calcolatore. Da ricordare, tra i "review articles", l'Annals of Physics del 1973 (2b.1 con M. P. Tosi) sulla teoria dei metalli liquidi visti come sistemi a due componenti, e il lavoro del 1990 (2.a.13) dedicato all'informazione che può essere estratta da esperimenti di diffrazione in sistemi liquidi e amorfi.

La terza e ultima sezione del volume, "One body potential theory of molecules and condensed matter", potrebbe chiamarsi anche "Dalla teoria di Hartree alla teoria del Funzionale Densità", ed è tripartita in sottosezioni, dedicate rispettivamente al metodo di Thomas Fermi "tradizionale" (sez. 3.a); agli sviluppi della teoria di Thomas Fermi al di là della approssimazione semiclassica inclusa l'estensione alla trattazione basata sulla matrice densità (sez. 3.b); e infine ad una selezione di applicazioni (sez. 3.c).

Anche la sezione 3 ha una grande valenza pedagogica e contiene numerose "milestones" poste in campo da Norman March nel corso di mezzo secolo: dal già citato teorema del viriale in forma differenziale, alla relazione tra matrici densita' canoniche e di Dirac, al problema delle serie perturbative (3.c.2), allo studio delle funzioni risposta atte a interpretare gli esperimenti di diffrazione in presenza di vibrazioni del reticolo (3.c.3 con W. Jones), agli effetti di campo magnetico, e fino allo studio dei potenziali e dei kernels di scambio e correlazione nella moderna teoria del Funzionale Densità (*e.g.* i lavori degli anni '90 con A. Holas o con M. Levy). A dispetto della presenza di notevoli complessitàmatematiche, anche in questa sezione il legame con gli esperimenti è costante, così come l'evidenziazione del ruolo delle simulazioni



numeriche. Fa quasi sorridere la frase con la quale si conclude uno dei primissimi lavori, datato1952, in cui l'allora poco più che ventenne Norman March ringrazia il Dipartimento di Matematica per l'uso di una "macchina calcolatrice" (3.a.2) o il ringraziamento per l'uso del "Ferranti-Pegasus Computer" nel già citato lavoro sulla teoria autoconsistente delle impurezze nei metalli (3.c.2).

In conclusione, il volume ha due pregi fondamentali: da un lato, è evidente il valore aggiunto di una raccolta di tutti i contributi di Norman March, che ne aumenta l'accessibilità, ne evidenzia le interrelazioni, e presenta al lettore l'intero sviluppo delle conoscenze in un arco temporale così considerevole. Dall'altro, va detto che la lettura risulta estremamente gradevole, sia per l'esperto – che ritroverà il piacere di rileggere molti dei lavori fondamentali di fisica teorica della materia degli anni '60 e '70 – sia per il neofita, tanto che a mio avviso la lettura di questo volume dovrebbe dovrebbe essere obbligatoria per chiunque si accinga ad entrare a far parte della relativa comunità scientifica, penso in particolare a dottorandi e postdocs.

Unico peccato veniale del volume, la veste grafica delle poche pagine introduttive, non perfettamente curata, con alcuni misprints e una citazione incompleta, e la svista di un lavoro riprodotto due volte (3b.20 e 3b.23).

G. Onida

A. Rubiño-Martín, R. Rebolo and E. Mediavilla (Editors) – The Cosmic Microwave Background. From Quantum Fluctuations to the Present Universe, Canary Islands Winter School of Astrophysics. Volume XIX. Cambridge University Press 2010; pp. XIII + 304; $120.00

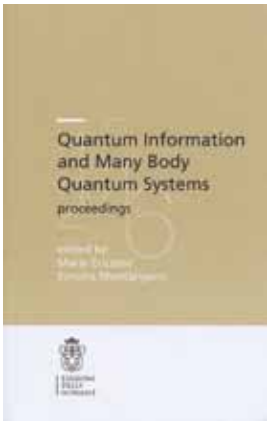
La Radiazione di Fondo Cosmico a Microonde (CMB) si è rivelata essere uno degli strumenti di studio a disposizione della Cosmologia più longevi ed efficaci. Quest'anno ricorrono i 45 anni dalla sua prima osservazione consapevole ad opera di Penzias e Wilson nel 1965. La prima evidenza indiretta e inconsapevole si può infatti far risalire al 1941 quando Andrew McKellar riportò l'osservazione di una temperatura bolometrica media di 2.3 K dedotta dallo studio delle linee di assorbimento interstellare; mentre nel 1955 Émile Le Roux del Nançay Radio Observatory, in una survey del cielo at λ=33 cm, trovò una radiazione di fondo quasi isotropica con una temperatura di 3±2 K. Dal 1965 a oggi questa affascinante radiazione che permea l'universo ha premiato con due premi Nobel i suoi studiosi (gli stessi Arno Penzias e Robert Wilson per la scoperta e John Mather e George Smoot per i risultati degli strumenti FIRAS e DMR a bordo del satellite COBE). Ma in questi anni denominati della Cosmologia di Precisione (locuzione coniata da Malcom Longair al congresso della International Astronomical Society di Manchester nel 2000) in cui i risultati del satellite WMAP ci hanno aiutato a determinare i valori dei parametri cosmologici con precisione, appunto, estrema e in attesa che arrivino le conferme e le nuove scoperte promesse dal satellite Planck, la radiazione di fondo cosmico è ancora una ricca miniera da esplorare con il suo capitolo più effimero e difficile da scrivere: la polarizzazione. Ecco perché lo sforzo formativo e di ricerca in questo ambito è sempre più vivo e vivace. Il volume qui recensito ("The Cosmic Microwave Background: From Quantum Fluctuations to the Presente Universe") contiene le lezioni tenute alla Canary Island Winter School of Astrophysics nel novembre del 2007 da alcuni dei maggiori esperti in materia. È un libro prezioso perché contiene un quadro notevolmente aggiornato e organico di tutti gli aspetti che compongono un tema così vasto come la Cosmologia della CMB. Gli argomenti trattati spaziano dall'inquadramento teorico dell'universo inflazionario, la teoria della formazione della CMB e delle sue fluttuazioni, i test di gaussianità, nonché le tecniche osservative e di analisi statistica più sofisticate, la rimozione dei foregrounds e l'estrazione dei parametri cosmologici. I vari capitoli, scritti ciascuno da un esperto del settore, hanno un'impostazione molto didattica che conduce per gradi fino all'acquisizione del corpus di conoscenze di più recente consolidamento (compatibilmente con i due anni e mezzo passati dalla data della scuola). La ricchezza dell'apparato bibliografico proposto da ogni docente fornisce poi un notevole insieme di spunti di ulteriore approfondimento. L'unico appunto che si può pensare di fare al volume, ma che di certo rispecchia analoga carenza nell'impostazione della scuola, è un certo sbilanciamento verso gli aspetti teorico interpretativi, a sfavore di quelli osservativi, nonostante che la "Cosmologia di Precisione" viva necessariamente delle osservazioni e delle misure e richieda oggigiorno un controllo estremo degli effetti sistematici strumentali che spesso agisce da driver nel design di un esperimento. Ecco quindi che questo volume non può che essere accolto con favore sia da studenti di dottorato che stanno iniziando le proprie ricerche in questo campo, sia da studiosi già esperti di questo tema desiderosi di ampliare le proprie conoscenze su quegli aspetti teorici o osservativi che non costituiscono il loro primario ambito di lavoro.

M. Zannoni

F. Toscano – Il genio e il gentiluomo. Einstein e il matematico italiano che salvò la teoria della relatività generale. Sironi Editore, Milano, 2004; pp. 313; € 18

Come suggerisce il titolo, il libro è doppio, perchè tratta sia del genio, cioè di Einstein, sia del gentiluomo, ovvero del matematico italiano Gregorio Ricci Curbastro. Nella parte relativa al genio, viene ricostruita la storia della relatività, sia ristretta che generale . Con spiegazioni lucide e approfondite su questioni come i rapporti fra Einstein e Lorentz, o i legami, da alcuni definiti "misteriosi" fra lo stesso genio e Poincaré. E sono argomenti sui quali continuano a esercitarsi, da decenni, storici e commentatori a vario titolo.
La solita mole di materiale viene analizzata con sicurezza , e basterebbe per un libro. Cui però è collegata la storia del gentiluomo, ricostruita a partire dalle sue radici romagnole, fino al coinvolgimento nella parabola del genio. Coinvolgimento reso ancora più stretto e operativo dall'allievo più illustre di Ricci Curbastro, cioè da Tullio Levi-Civita. Al punto che il genio ammise di ammirare dell'Italia, soprattutto gli spaghetti e Levi-Civita.
L'autore ricostruisce anche gli scontri, che negarono al gentiluomo il massimo riconoscimento per un matematico italiano dell'epoca, il Premio Reale di matematica dell'Accademia dei Lincei. Una punizione eccessiva, da parte di cultori di geometria pura, trionfanti nell'era delle geometrie non-euclidee, inflitta al creatore del più sofisticato formalismo analitico.

L. Belloni



M. Ericsson and S. Montangero (Editors) – Quantum Information and Many Body Quantum Systems. Proceedings. Edizioni della Normale, Pisa, 2008; pp. XIII + 174; € 29,00

This volume collects some relevant contributions to a conference held at Centro di Ricerca Matematica "Ennio De Giorgi" of Scuola Normale Superiore, Pisa, in 2007 and devoted to the research activities at the intersection of quantum many-body physics and quantum information theory. This was a timely initiative of the editors Marie Ericsson and Simone Montangero who have witnessed the recent explosion of interests on such activities.

Browsing along the chapters of this collection one acquires a clear perception that quantum information theory is becoming more and more intertwined with quantum many-body theory.

As matter of fact, after the initial investigation of simple systems, such as single or two qubits, the focus is now more on many-body quantum systems in order to understand realistic quantum information devices. These studies are also driven by the very fast development of experiments, which in the last years reached the goal of coherent control of few qubits. Besides, new paradigm of performing quantum information tasks without direct control of the whole system has increased the need of tools to understand in details the behaviour of many-body quantum systems as we find them in nature.

It is worth noticing that the comprehension of many-body quantum systems ranging from few qubits to the thermodynamical limit is relevant not only to develop useful quantum information devices, but it will lead us to a better understanding of the physical world. It has been the advent of quantum information science that has led to the possibility of using new conceptual and technical tools in the study of quantum cooperative phenomena. For instance, the implications of quantum entanglement for the understanding of complex many-body quantum systems are begin actively investigated.

The above reasonings have induced an exchange of knowledge between quantum information and other fields, like condensed matter, statistical mechanics, computational physics or quantum chaos.

The editors have made a remarkable job in bringing together a coherent set of papers, written by the best specialists of each field. The volume provides an ample outline of the most relevant ideas bridging quantum information theory and quantum many-body physics.

There are chapters on the entanglement properties in quantum many-body systems (including hybrid light-matter ones), on the entanglement controllability and on the locality of non-relativistic lattice models. Others are dedicated to the complexity and methods of simulating quantum-mechanical systems, on quantum annealing and general algorithmic strategies to attack optimization problems. Techniques based on differential geometry or on operator algebras are used to describe critical phenomena in some other chapters. Open problems and future perspectives are discussed in every chapter.

The volume constitutes a reference guide for scientists working in quantum information theory and quantum many-body physics and it can trigger further interests. It could be also helpful to academic components to grasp the cross-disciplinary impact of the large body of ideas and elaborate syllabi for innovative (under)graduate courses. Hence, the libraries of any department of physics (and possibly mathematics and computer science) should own this volume. It is hoped that this editorial initiative will foster new volumes bringing forward advances on this exciting arena.

S. Mancini

F. Toscano – Il fisico che visse due volte. I giorni straordinari di Lev Landau, genio sovietico Sironi Editore. Milano, 2008; pp. 283, € 18,00

Allievo di Silvio Bergia, l'autore si è laureato in fisica teorica e successivamente perfezionato in storia della scienza.

È recente vincitore del premio Giovanni Maria Pace, promosso dalla SISSA di Trieste e da Illycaffè per la saggistica scientifica, proprio grazie alla biografia di Landau, ben scritta e riccamente documentata.

Il titolo fa il verso a un celebre thriller di Alfred Hitchcock e allude al gravissimo incidente automobilistico, che cambiò la vita del protagonista, negli anni Sessanta del secolo scorso.

Di grande intensità drammatica sono state anche le vicende vissute da Landau negli anni Trenta. Quando ebbe uno scontro personale durissimo con Abraham Ioffe, il padre-padrone dell'Istituto Fisico-Tecnico di Leningrado, considerato la culla della fisica sovietica. Venne di conseguenza esiliato a Kharkov, nella zona industriale dell'Ucraina orientale, dove era stato realizzato un clone dell'istituto di Leningrado.

Qui venne coinvolto in un altro e ben più grave scontro, con il KGB locale , che portò all'annichilamento, nel senso fisico, dello stesso istituto di Kharkov.

Riparato a Mosca, fu raggiunto dalla longa manus del KGB, e rimase ospite delle carceri sovietiche per oltre un anno.

Venne liberato nel 1939, sotto la personale responsabilità di Piotr Kapitza, che si fece garante, presso Stalin, della futura condotta di Landau.

Per sdebitarsi, Landau sviluppò una teoria quantistico-idrodinamica, che spiega le proprietà dell'elio super-fluido alle bassissime temperature, rivelate dagli esperimenti di Kapitza di pochi anni prima. Per quel successo, e per i servigi resi alla fisica teorica, Landau ottenne il Premio Nobel nel 1962. Kapitza invece dovette attendere fino al 1978 per ottenere l'ambito riconoscimento.

Nel dicembre del 1945, Kapitza si rifiutò di eseguire l'ordine di copiare, fino all'ultimo bullone, la bomba americana al plutonio. Pensava che l'impresa fosse troppo costosa per le condizioni disastrate dell'industria dell'URSS, appena uscita dalla guerra. Inoltre riteneva di poter sviluppare l'arma nucleare con un progetto meno dispendioso, e soprattutto più brillante di quello di Los Alamos. Cadde quindi in disgrazia, e vi rimase fino alla morte di Stalin.

Privato dello scudo protettivo di Kapitza, Landau fu costretto a svolgere parecchi calcoli sul rendimento di vari tipi di bombe nucleari.

L'autore tratta entrambe le vite di Landau, sia sotto l'aspetto scientifico, sia sotto l'aspetto della vita pubblica, con abbondanza di documentazione, difficile da reperire, perchè non si trova sotto casa.

Da sperimentato comunicatore scientifico, l'autore illustra gli importanti contributi di un fisico teorico "universale", forse l'ultimo in grado di padroneggiare tutti i settori delle teorie fisiche. Senza trascurare gli aspetti di gossip, legati ai rapporti con l'altra metà del cielo.

Una biografia completa, che colma una lacuna vistosa nella saggistica italiana, scritta con garbo e sicura competenza.

L. Belloni

F. Toscano - L'erede di Galileo. Vita breve e mirabile di Evangelista Torricelli – Sironi Editore, Milano, 2008; pp.190; € 15,00

F. Toscano – La formula segreta. Tartaglia, Cardano e il duello matematico che infiammò l'Italia del Rinascimento – Sironi Editore, Milano, 2009; pp. 205; € 18,00

"L'esperienza del vacuo" è stata citata nientemeno che da Immanuel Kant, come fondamentale, accanto a quelle sulla caduta dei gravi del maestro Galileo. La sua origine sta in un dibattito fra il sommo pisano e un ingegnere genovese, che per anni ha provocato e punzecchiato lo scienziato su diverse questioni. L'ultima riguardava il mancato funzionamento di pompe idrauliche nella costruzione di un acquedotto a Savona : si rifiutavano di pompare l'acqua al di sopra di circa 10 metri.

Pur immerso nei massimi sistemi, Galileo si impegnò a risolvere i quesiti posti dall'ingegnere. E per spiegare il mancato funzionamento delle pompe , elaborò una complicata teoria atomistica sulla costituzione della materia, che espose poi nella prima giornata dei Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze.

L'ingegnere rimase scettico e ribadì che, a suo parere, il problema stava nella "gravità specifica" dell'aria . Partendo dalle critiche del geniale tecnico, Torricelli sviluppò un calcolo archimedeo di "gravità specifiche" e "perpendicoli", che portò diritto all'esperienza del vacuo. Dove si dimostrava che l'aria dell'atmosfera esercita una pressione equivalente a quella di una colonna di circa 10 metri di acqua, e di una colonna di mercurio di 760 millimetri.

Torricelli superò di molto il maestro anche nello sviluppo di metodi di calcolo infinitesimale, praticamente assenti nei lavori del fondatore della fisica matematica.

Toscano si conferma un virtuoso della biografia scientifica, con questo altro saggio ultra-documentato. E non era una impresa facile, trattandosi di un personaggio come Torricelli.

La formula era segreta, ma le dispute fra algebristi erano pubbliche e decidevano i destini degli sfidanti. Con un modo ultra-semplice per risolvere anche il problema della comunicazione fra scienza e società. Dopo secoli di lunga carburazione, il Rinascimento dell'algebra esplode nell'Italia mercantile delle città del Nord, con le proposte di soluzione delle equazioni cubiche.

L'autore si conferma valido esperto nella caratterizzazione dei personaggi, uno più sanguigno dell'altro, con la loro sfilza di quesiti risolti, e comunicati a metà, e per enigmi, come pure dell'ambiente socio-culturale, che li ha stimolati. Ancora ricca documentazione ed esposizione piana , adatta per il colto e l'inclita.

L. Belloni

a cura di Giorgio Benedek

IN RICORDO DI

Ambrogio Pantaleo

Montalbano Jonico, 24 gennaio 1948 - Bari, 23 giugno 2010

V. Paticchio

Pubblicato online 4 agosto 2010

Giuseppe Dellacasa

Moncalieri, 4 febbraio 1944 - Settimo Torinese, 23 agosto 2010

E. Chiavassa

Pubblicato online 5 ottobre 2010

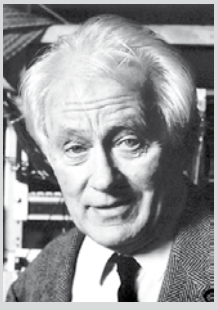
Nicola Cabibbo

Roma, 10 aprile1935 - Roma, 16 agosto 2010

R. Gatto

Pubblicato online 11 ottobre 2010

Georges Charpak



Dabrowica, 1 agosto 1924 - Parigi, 29 settembre 2010

A. Zichichi

Pubblicato online 26 ottobre 2010

Bruno Ferretti

Bologna, 1 luglio 1913 - Bologna, 11 agosto 2010

A. Zichichi

Pubblicato online 26 ottobre 2010

INDICI DEL VOLUME 26

INDICE PER FASCICOLI

Numero 1/2, 2010

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
MAGIC
A. De Angelis, B. De Lotto, M. Mariotti, M. Meucci, R. Paoletti, L. Peruzzo, M. Persic, B. Sacco, A. Saggion, A. Treves 5
Equivalence principle test in space
A.M. Nobili 18
L'acqua: un sistema complesso
F. Mallamace 28
Seeing the heartbeat
R. Antolini 39
35 anni di successi in Europa per la piccola padovana
A. Gemma 56
L'impegno premiato di una corporation figlia della ricerca
A. Gemma, R. Camuffo 58
The birth of the atomic nucleus
R. Marshall 61
Programma della Scuola estiva "Enrico Fermi" di Varenna 71
XCVI Congresso Nazionale - Bandi dei concorsi a premi della SIF 75
Riforma e politica dell'università
A. Stella 83
La riforma dei settori scientifico-disciplinari: la proposta del CUN
P. Rossi 89
The ICTP - TRIL Programme
G. Furlan, D. Treleani, D. Nobili 91
In ricordo di (*)
Carlo Cercignani (M. Lampis) 92
Albert Tavkhelidze (G. Piragino) 92
ESOF2010
E. Predazzi 93
Women physicists at work 95
Intervista a Andrea Cammelli
V. Grasso 96
Recensioni 97
Annunci 102

Numero 3/4, 2010

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
The appearence of the tau-neutrino
A. Ereditato 5
Spin e carica: un dialogo promettente
A. Raimondi 21
Astroarcheologia con gli ammassi stellari
F. R. Ferraro, B. Lanzoni, E. Dalessandro, A. Mucciarelli 33
Micromotori a propulsione batterica
R. Di Leonardo, L. Angelani, G. Ruocco 45
Acceleratori di particelle: quale ruolo oggi per i beni culturali?
P. A. Mandò, M. Fedi, N. Grassi 53
RENCO: Il colosso pesarese nella sfida dell'alta tecnologia industriale
A. Gemma 65
SIMIC: la storia di come investire in R&S porta a crescere
R. Camuffo 67
XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica
Programma Generale 69

(*) Il testo completo dei necrologi è pubblicato solo nella versione online (`http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/saggiatore/ricordo`)

C'è spazio per un fisico nelle scienze forensi?
D. Zavattaro 72
Origin, role and structure of the Institute of Physics
R. Kirby-Harris 78
Incontro per i 90 anni di Giorgio Salvini
S. Falciano, F. Lacava 83
Donne e ricerca nell'Unione Europea
P. Cenci, A. Di Virgilio, L. Ubaldini 86
Intervista a Federico Faggin
S. Centro 90
Opinioni 91
In ricordo di (*)
Daniele Prosperi (R. Bernabei) 91
George Timofeevich Zatsepin (O. Saavedra) 91
Alexei Norairovich Sissakian (G. Piragino) 91
Alessandro G. Ruggiero (V. G. Vaccaro) 91
Recensioni 92

Numero 5/6, 2010

Editoriale/Editorial
L. Cifarelli 3
Quantum simulators and quantum design
R. Fazio, A. Tomadin 5
La rivoluzione della plastica nel settore fotovoltaico
A. Di Carlo, A. Reale, T. M. Brown, F. Brunetti 10
The tabletop measurement of the helicity of the neutrino
L. Grodzins 23
Giulio Racah (1909-1965): modern spectroscopy and group theory
F. Iachello, I. Talmi 30
Frane sotto controllo
F. Pedrielli, F. Ferrari, I. Di Giovanni 36
Dalla leggenda dei materiali alla magia del vetro
P. Mazzoldi 47
Clausius Clapeyron and the regulation of global warming
W. Kininmonth 61
E4: La specialista emiliana della personalizzazione nell'Information Technology
A. Gemma 71
CRIOTEC: La piccola torinese e il gigante della ricerca
R. Camuffo 73
Cerimonia Inaugurale XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica 75
50 anni di laser. Tavola Rotonda al XCVI Congresso Nazionale della SIF
G. C. Righini 84
Assemblea di ratifica delle elezioni delle cariche sociali della SIF per il triennio 2011-2013 86
African Physical Society
F. K. A. Allotey 87
Nicola Cabibbo and his role in elementary-particle theory
R. Gatto 90
The Italian graduate profile survey
A. Cammelli 92
Premio Fermi 2010
A. Bettini 96
Premio Occhialini 2010
A. Bettini 98
Premio Nobel per la Fisica 2010
G. Grosso 99
Premio e medaglia Thomson 2010
A. Bettini 101
III Centenario di Laura Bassi
L. Cifarelli, A. Oleandri 101
Intervista a Alessandro Clerici
E. De Sanctis 102
Opinioni 103

Recensioni 103
In ricordo di(*)
Ambrogio Pantaleo (V. Paticchio) 109
Giuseppe (Beppe) Dellacasa (E. Chiavassa) 109
Nicola Cabibbo (R. Gatto) 109
Georges Charpak (A. Zichichi) 109
Bruno Ferretti (A. Zichichi) 109
Indice del vol. 26 110

INDICE PER AUTORI

A
Allotey F. K. A.
African Physical Society 26:5/6, 87
Angelani L. (vedi Di Leonardo R.)
Antolini R.
Seeing the heartbeat 26:1/2, 39

B
Bernabei R.
In ricordo di Daniele Prosperi (*) 26:3/4, 91
Bettini A.
Premio Fermi 2010 26:5/6, 96
Bettini A.
Premio Occhialini 2010 26:5/6, 98
Bettini A.
Premio e medaglia Thomson 2010 26:5/6, 101
Brown T. M. (vedi Di Carlo A.)
Brunetti F. (vedi Di Carlo A.)

C
Cammelli A.
The Italian graduate profile survey 26:5/6, 92
Campanelli E.
Scienza e "Misteri Oscuri" 26:3/4, 91
Camuffo R.
SIMIC: la storia di come investire in R&S porta a crescere 26:3/4, 67
Camuffo R.
CRIOTEC: La piccola torinesee e il gigante della ricerca 26:5/6, 73
Camuffo R. (vedi Gemma A.)
Cenci P., Di Virgilio A., Ubaldini L.
Donne e ricerca nell'Unione Europea 26:3/4, 86
Centro S.
Intervista a Federico Faggin 26:3/4, 90
Chiavassa E.
In ricordo di Giuseppe (Beppo) Dellacasa(*) 26:5/6, 109
Cifarelli L., Oleandri A.
III Centenario di Laura Bassi 26:5/6, 101

D
Dalessandro E. (vedi Ferraro F. R.)
De Angelis A., De Lotto B., Mariotti M., Meucci M., Paoletti R., Peruzzo L., Persic M., Sacco B., Saggion A., Treves A.
MAGIC 26:1/2, 5
De Lotto B. (vedi De Angelis A.)
De Sanctis E.
Intervista a Alessandro Clerici 26:5/6, 102
Di Carlo A., Reale A., Brown T. M., Brunetti F.
La rivoluzione della plastica nel settore fotovoltaico 26:5/6, 10
Di Giovanni I. (vedi Pedrielli F.)
Di Leonardo R., Angelani L., Ruocco G.
Micromotori a propulsione batterica 26:3/4, 45
Di Virgilio A. (vedi Cenci P.)

E
Ereditato A.
The appearence of the tau-neutrino 26:3/4, 5

F
Falciano S., Lacava F.
Incontro per i 90 anni di Giorgio Salvini 26:3/4, 83
Fazio R., Tomadin A.
Quantum simulators and quantum design 26:5/6, 5
Fedi M. (vedi Mandò P. A)
Ferrari F. (vedi Pedrielli F.)
Ferraro F. R., Lanzoni B., Dalessandro E., Mucciarelli A.
Astroarcheologia con gli ammassi stellari 26:3/4, 33
Furlan G., Treleani D., Nobili D.
The ICTP - TRIL Programme 26:1/2, 91

G
Gatto R.
Nicola Cabibbo and his role in elementary-particle theory 26:5/6, 90
Gatto R.
In ricordo di Nicola Cabibbo(*) 26:5/6, 109
Gemma A.
35 anni di successi in Europa per la piccola padovana 26:1/2, 56
Gemma A.
RENCO: Il colosso pesarese nella sfida dell'alta tecnologia industriale 26:3/4, 65
Gemma A.
E4: La specialista emiliana della personalizzazione nell'Information Technology 26:5/6, 71
Gemma A., Camuffo R.
L'impegno premiato di una corporation figlia della ricerca 26:1/2, 58
Grassi N. (vedi Mandò P. A.)
Grasso V.
Intervista a Andrea Cammelli 26:1/2, 96
Grodzins L.
The tabletop measurement of the helicity of the neutrino 26:5/6, 23
Grosso G.
Premio Nobel per la Fisica 2010 26:5/6, 99
Guerra F., Robotti N.
Ettore Majorana sul piroscafo (la versione estesa è pubblicata solo online: `www.sif.it/SIF/portal/attivita/saggiatore/econtents`) 26:5/6, 103

I
Iachello F., Talmi I.
Giulio Racah (1909-1965): modern spectroscopy and group theory 26: 5/6, 30

K
Kirby-Harris R.
Origin, role and structure of the Institute of Physics 26:3/4, 78
Kininmonth W.
Clausius Clapeyron and the regulation of global warming 26:5/6, 61

L
Lacava F. (vedi Falciano S.)
Lampis M.
In ricordo di Carlo Cercignani (*) 26:1/2, 92
Lanzoni B. (vedi Ferraro F. R.)
Longo E.
Infelici Luoghi Comuni 26:5/6, 103

M
Mallamace F.
L'acqua: un sistema complesso 26:1/2, 28
Mandò P. A., Fedi M., Grassi N.
Acceleratori di particelle: quale ruolo oggi per i beni culturali? 26:3/4, 53
Marshall R.
The birth of the atomic nucleus 26:1/2, 61
Mazzoldi P.
Dalla leggenda dei materiali alla magia del vetro 26:5/6, 47
Mariotti M. (vedi De Angelis A.)
Meucci M. (vedi De Angelis A.)
Mucciarelli A. (vedi Ferraro F. R.)

N
Nobili A.M.
Equivalence principle test in space 26:1/2, 18
Nobili D. (vedi Furlan G.)

O
Oleandri A. (vedi Cifarelli L.)

P
Paoletti R. (vedi De Angelis A.)
Paticchio V.
In ricordo di Ambrogio Pantaleo(*) 26:5/6, 109
Pedrielli F., Ferrari F., Di Giovanni I.
Frane sotto controllo 26:5/6, 36
Peruzzo L. (vedi De Angelis A.)
Persic M. (vedi De Angelis A.)
Piragino G.
In ricordo di Albert Tavkheidze(*) 26:1/2, 92
Pragino G.
In ricordo di Alexei Norairovich Sissakian(*) 26:3/4, 91
Predazzi E.
ESOF2010 26:1/2, 93

R
Raimondi A.
Spin e carica: un dialogo promettente 26:3/4, 21
Reale A. (vedi Di Carlo A.)
Righini G. C.
50 anni di laser. Tavola Rotonda al XCVI Congresso Nazionale della SIF 26:5/6, 84
Robotti N. (vedi Guerra F.)
Rossi P.
La riforma dei settori scientifico-disciplinari: la proposta del CUN 26:1/2, 89
Ruocco G. (vedi Di Leonardo R.)

S
Saavedra O.
In ricordo di George Timofeevich Zatsepin(*) 26:3/4, 91
Sacco B. (vedi De Angelis A.)
Saggion A. (vedi De Angelis A.)
Stella A.
Riforma e politica dell'università 26:1/2, 83

T
Talmi I. (vedi Iachello F.)
Tomadin A. (vedi Fazio R.)
Treleani D. (vedi Furlan G.)
Treves A. (vedi De Angelis A.)

U
Ubaldini L. (vedi Cenci P.)

V
Vaccaro V. G.
In ricordo di Alessandro G. Ruggiero(*) 26:3/4, 91

Z
Zavattaro D.
C'è spazio per un fisico nelle scienze forensi? 26:3/4, 72
A. Zichichi
In ricordo di Georges Charpak (*) 26:5/6, 109
A. Zichichi
In ricordo di Bruno Ferretti (*) 26:5/6, 109

INDICE PER RUBRICHE

SCIENZA IN PRIMO PIANO

Astroarcheologia con gli ammassi stellari
F. R. Ferraro, B. Lanzoni, E. Dalessandro,
A. Mucciarelli 26:3/4, 33
Equivalence principle test in space
A.M. Nobili 26:1/2, 18
L'acqua: un sistema complesso
F. Mallamace 26:1/2, 28
La rivoluzione della plastica nel settore fotovoltaico
A. Di Carlo, A. Reale, T. M. Brown, F. Brunetti 26:5/6 10
MAGIC
A. De Angelis, B. De Lotto, M. Mariotti, M. Meucci, R. Paoletti,
L. Peruzzo, M. Persic, B. Sacco, A. Saggion, A. Treves 26:1/2, 5
Micromotori a propulsione batterica
R. Di Leonardo, L. Angelani, G. Ruocco 26:3/4, 45
Quantum simulators and quantum design
R. Fazio, A. Tomadin 26:5/6 5
Spin e carica: un dialogo promettente
A. Raimondi 26:3/4, 21
The appearence of the tau-neutrino
A. Ereditato 26:3/4, 5

FISICA E...

Acceleratori di particelle: quale ruolo oggi per i beni culturali?
P. A. Mandò, M. Fedi, N. Grassi 26:3/4, 53
Clausius Clapeyron and the regulation of global warming
W. Kininmonth 26:5/6, 61
Dalla leggenda dei materiali alla magia del vetro
P. Mazzoldi 26:5/6, 47
Frane sotto controllo
F. Pedrielli, F. Ferrari, I. Di Giovanni 26:5/6, 36
Seeing the heartbeat
R. Antolini 26:1/2, 39

Ricerca & Industria

35 anni di successi in Europa per la piccola padovana
A. Gemma 26:1/2, 56
CRIOTEC: La piccola torinese e il gigante della ricerca
R. Camuffo 26:5/6 73
E4: la specialista emiliana della personalizzazione nell'Information Technology
A. Gemma 26:5/6 71
L'impegno premiato di una corporation figlia della ricerca
A. Gemma, R. Camuffo 26:1/2, 58
RENCO: Il colosso pesarese nella sfida dell'alta tecnologia industriale
A. Gemma 26:3/4, 65
SIMIC: la storia di come investire in R&S porta a crescere
R. Camuffo 26:3/4, 67

PERCORSI

Giulio Racah (1909-1965): modern spectroscopy and group theory
F. Iachello, I. Talmi 26:5/6, 30
The birth of the atomic nucleus
R. Marshall 26:1/2, 61
The tabletop measurement of the helicity of the neutrino
L. Grodzins 26:5/6, 23

IL NOSTRO MONDO

50 anni di laser. Tavola Rotonda al XCVI Congresso Nazionale della SIF
G. C. Righini 26:5/6, 84
African Physical Society
F. K. A. Allotey 26:5/6, 87
C'è spazio per un fisico nelle scienze forensi?
D. Zavattaro 26:3/4, 72
La riforma dei settori scientifico-disciplinari: la proposta del CUN
P. Rossi 26:1/2, 89
Nicola Cabibbo and his role in elementary-particle theory
R. Gatto 26:5/6, 90
Origin, role and structure of the Institute of Physics
R. Kirby-Harris 26:3/4, 78
Riforma e politica dell'università
A. Stella 26:1/2, 83

Congressi SIF e atti societari
Programma della Scuola estiva "Enrico Fermi" di Varenna 26:1/2, 71
XCVI Congresso Nazionale - Bandi dei concorsi a premi della SIF 26:1/2, 75
XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica - Programma Generale 26:3/4, 69
Cerimonia Inaugurale XCVI Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica 26:5/6, 75
Assemblea di ratifica delle elezioni delle cariche sociali della SIF per il triennio 2011-2013 26:1/2, 86

News
Donne e ricerca nell'Unione Europea
P. Cenci, A. Di Virgilio, L. Ubaldini 26:3/4, 86
ESOF2010
E. Predazzi 26:1/2, 93
Incontro per i 90 anni di Giorgio Salvini
S. Falciano, F. Lacava 26:3/4, 83
Premio e medaglia Thomson 2010
A. Bettini 26:5/6, 101
Premio Fermi 2010
A. Bettini 26:5/6, 96
Premio Nobel per la Fisica 2010
G. Grosso 26:5/6, 99
Premio Occhialini 2010
A. Bettini 26:5/6, 98
III Centenario di Laura Bassi
L. Cifarelli, A. Oleandri 26:5/6, 101
The Italian graduate profile survey
A. Cammelli 26:5/6, 92
The ICTP - TRIL Programme
G. Furlan, D. Treleani, D. Nobili 26:1/2, 91
Women physicists at work 26:1/2, 95

Intervista a
Intervista a Andrea Cammelli
V. Grasso 26:1/2, 96
Intervista a Federico Faggin
S. Centro 26:3/4, 90
Intervista a Alessandro Clerici
E. De Sanctis 26:5/6, 102

Commemorazioni, profili e premi
In ricordo di Carlo Cercignani (*)
M. Lampis 26:1/2, 92
In ricordo di Albert Tavkhelidze (*)
G. Piragino 26:1/2, 92
In ricordo di Daniele Prosperi (*)
R. Bernabei 26:3/4, 91
In ricordo di George Timofeevich Zatsepin (*)
O. Saavedra 26:3/4, 91
In ricordo di Alexei Norairovich Sissakian (*)
G. Pragino 26:3/4, 91
In ricordo di Alessandro G. Ruggiero (*)
V. G. Vaccaro 26:3/4, 91
In ricordo di Ambrogio Pantaleo (*)
V. Paticchio 26:5/6, 109
In ricordo di Giuseppe (Beppe) Dellacasa (*)
E. Chiavassa 26:5/6, 109
In ricordo di Nicola Cabibbo (*)
R. Gatto 26:5/6, 109
In ricordo di Georges Charpak (*)
A. Zichichi 26:5/6, 109
In ricordo di Bruno Ferretti (*)
A. Zichichi 26:5/6, 109

OPINIONI

Scienza e "Misteri Oscuri"
E. Campanelli 26:3/4, 91
Infelici Luoghi Comuni
E. Longo 26:5/6, 103
Ettore Majorana sul piroscafo (la versione estesa è pubblicata solo online: `www.sif.it/SIF/portal/attivita/saggiatore/econtents`)
F. Guerra, N. Robotti 26:5/6, 103

RECENSIONI

11th Workshop Italian Research on Antartic Atmosphere. Conference Proceedings SIF, Volume 97, M. Colacino and C. Rafanelli (Editors), recensito da V. Maggi 26:1/2, 97
A brilliant Darkness. The Extraordinary Life and Mysterious Disappearance of Ettore Majorana, the Troubled Genius of the Nuclear Age, J. Magueijo, recensito da S. Esposito 26:3/4, 92
Al di là dell'Intuizione. Per una soria della fisica del ventesimo secolo. Relatività e quantistica, A. Braccesi, recensito da G. Pisent 26:1/2, 99
A Survey of Computational Physics: Introductory Computational Science, R. H. Landau, M. J. Pàez and C. C. Bordeianu, recensito da F. Montalenti 26:1/2, 98
Comets and the Origin of Life, J. T. Wickramasinghe, N. C. Wickramasinghe, W. M. Napier, recensito da G. Sironi 26:3/4, 93
Escape from Leipzig, H. Fritzsch, recensito da L. Belloni 26:1/2, 100
Fisica Biomedica. Per i Corsi di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia, Odontoiatria, Medicina Veterinaria, Farmacia, Scienze e Tecnologie Farmaceutiche, Corsi di Laurea nelle Professioni Sanitarie e in Scienze delle Attività Motorie, F. Bersani, S. Bettati, P. F. Biagi, V. Capozzi, L. Feroci, M. Lepore, D. G. Mita, I. Ortalli, G. Roberti, P. Viglino e A. Vitturi (Coordinato da D. G. Mita e L. Feroci), recensito da V. Dallacasa 26:3/4, 97
Galileo Galilei and Motion. A Reconstruction of 50 years of Experiments and Discoveries, R. Vergara Caffarelli, recensito da W. Shea 26:5/6, 105

How Physics Confronts Reality. Einstein was Correct, but Bohr Won the Game, R. G. Newton, recensito da G. M. D'Ariano 26:3/4, 95
Il fisico che visse due volte. I giorni straordinari di Lev Landau, genio sovietico, F. Toscano, recensito da L. Belloni 26:5/6, 108
Il genio e il gentiluomo, F. Toscano, recensito da L. Belloni 26: 5/6, 107
Il vero dottor Stranamore - Edward Teller e la guerra nucleare, P. Goodchild, recensito da L. Belloni 26:3/4, 94
La materia dei sogni. Sbirciatina su un mondo di cose soffici (lettore compreso), R. Piazza, recensito da C. Caglioti 26:5/6,105
L'erede di Galileo. Vita breve e mirabile di Evangelista Torricelli e *La formula segreta. Tartaglia, Cardano e il duello matematico che infiammò l'Italia del Rinascimento*, F. Toscano, recensiti da L. Belloni 26:5/6, 109
L'Università degli Studi di Firenze nel centenario della nascita di Giuseppe Occhialini (1907-1993), A. Bonetti e M. Mazzoni (a cura di), recensito da L. Belloni 26:1/2, 98
Many-Body Theory of Molecules, Clusters, and Condensed Phases, N. H. March and G. G. N. Angilella (Editors), recensito da G. Onida 26:5/6, 106
Measurements of Neutrino Mass. Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi". Course CLXX, F. Ferroni, F. Vissani and C. Brofferio (Editors), recensito da G. L. Fogli 26:3/4, 95
On the Pulsar, B. B. Kadomsev (Foreward by A. Nomerotsky), recensito da G. Sironi 26:3/4, 93
Particle Dark Matter. Observations, Models and Searches, G. Bertone (Editor), recensito da A Bottino 26:3/4, 98
Quantum Information and Many Body Quantum Systems, M. Ericsson and S. Montangero, recensito da S. Mancini 26:5/6, 108
Rumore bianco - Introduzione alla musica digitale, A. Cremaschi e F. Giomi, recensito da G. Benedek 26:1/2, 101
Soft-Matter Characterization, R. Borsali and R. Pecora (Editors), recensito da G. Benedek 26:1/2, 100
The Cosmic Microwave Background. From Quantum Fluctuations to the Present Universe, Canary Island Winter School of Astrophysics, A. Rubiño-Martin, R. Rebolo and E. Mediavilla (Editors), recensito da M. Zannoni 26:5/6, 107

EPJ.org
your physics journal

DISCOUNTED OPEN ACCESS FEE FOR PHYSICAL SOCIETY MEMBERS

Members of the European Physical Societies represented in the EPJ Scientific Advisory Committee who choose to publish their EPJ paper in open access enjoy a 10% discount on the open access fee. For detailed information on how open access works in EPJ: http://www.epj.org/open_access.html

DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA 2011
ITALIAN PHYSICAL SOCIETY MEMBERSHIP APPLICATION FORM

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 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/SIF/it/portal/associazione`
(**) Information: `http://www.sif.it/SIF/en/portal/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/SIF/it/portal/associazione

Quote sociali 2011 della Società Italiana di Fisica

○ Socio Individuale	€ 45,00	☐
○ Socio Junior al di sotto dei 30 anni	€ 25,00	☐
○ 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/SIF/it/portal/associazione

Per diventare Socio EPS:

Informazioni: http://www.eps.org/subscribe

Quote sociali 2011 della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

○ Socio	€ 20,00	☐
○ Socio al di sotto dei 30 anni	€ 15,00	☐
○ Socio in pensione	€ 15,00	☐
○ Studente	€ 15,00	☐
○ Insegnante (pre-universitario)	€ 15,00	☐

Modalità di pagamento della quota sociale alla SI

☐ 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

Carta n. _____

Data di scadenza _____

Nome e Cognome o Ente _____

Via _____

Città e C.A.P. _____

Data e luogo di nascita _____

Data _____ Firma _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003

sì ☐ no ☐

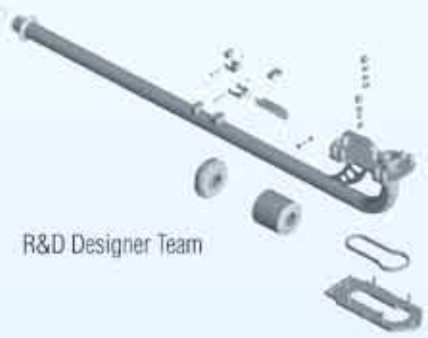
ECOR RESEARCH

Welcome to the Welding World

ENGINEERING

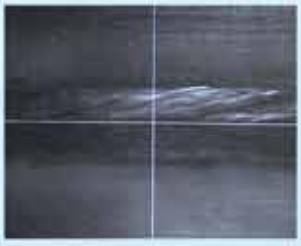
Research & Development Design

Developing a project by implementing the needs of the customer with our know-how and experience, in order to reach the best result



R&D Designer Team

Pro-E Design



Special Process Focus

ADVANCED WELDING

Welding Process Special Material

Choosing the most suitable welding technology and respecting the quality standards and their continuity in all processes

Laser YAG - Advanced robot welding

- Pipe Ø from 10 up to 150 mm
- Thickness from 0,3 up to 5 mm

Titanium Welding

- Titanium Tig Welding
- Thickness from 0,1 up to 8 mm

NEW

Advanced Vacuum Furnace - BRAZING

ASSEMBLY

Complete Assembly Process

We wish to provide turnkey solutions, from the assembly and testing operations to the packing and delivery of the goods according to our customers' requirements.

1. Mechanical Assembly
2. Pneumatic Assembly
3. Electrical Wiring

WORLD CLASS MANUFACTURING ECOR RESEARCH

Service units module and module for complete lines

ECOR RESEARCH

Ecor Research SpA - Via Friuli, 11 - 36015 SCHIO (VI) ITALY
Phone: +39 0445 576063 - Fax: +39 0445 576264
Email: info@ecor-research.com - Web: www.ecor-research.com

SIMIC S.p.A.

Cryogenics

Cryostats, Vacuum Vessels & High Vacuum Equipment

ENDCAP CRYOSTAT FOR ATLAS
EXPERIMENT - LHC PROJECT
MATERIAL: ALUMINIUM AL 5083;
THICKNESS: 160 mm;
EXT. DIAM. 5.500 mm;
HEIGHT: 3.700 mm;
WEIGHT: 30.000 Kg;
TESTS: HYDRAULIC TEST,
CRYOGENIC TEST 90K
HELIUM LEAK TEST (< $1x10^{-8}$ mbar.l/s)

COMPONENTS FOR THE RADIO
FREQUENCY SYSTEM OF A K500
SUPERCONDUCTING CYCLOTRON
MATERIAL: COPPER UNSC 10100
HELIUM LEAK TEST < $1x10^{-9}$ mbar.l/s)

VACUUM CHAMBER
FOR THE X-RAY
ASTRONOMY &
TESTING FACILITY
OF THE
ASTRONOMIC
OBSERVATORY OF
PALERMO (ITALY)-
INAF

SIMIC SPA, VIA VITTORIO VENETO, 12072 CAMERANA (CN), ITALY
TEL +39 0174 906611 FAX +39 0174 906609
www.simic.it simic@simic.it

FLAMAR

di Claudio Bellotti
Via Manzoni, 28 - 20021 Baranzate (Mi)
Tel: 02.36 52 45 56 - Fax: 02.36 52 52 44
claudio_bellotti@fastwebnet.it
P.Iva 06467530967

www.flamarweb.it

MCL
MAD CITY LABS INC.
Sistemi piezo per nanoposizionamenti

Steinmeyer FMD DRESDEN
Slitte di traslazione e rotazione ad alta precisione

Fine Adjustment Montaggi ottici ultra fini

NT-MDT
Integrated solutions for NanoTechnology
Microscopia SPM/AFM

TNX X-Ray technologies
Diffrattometri a raggi X

csm Instruments
Analisi superfici Nanoidentazione

DHC 大恒光电 CDHC-OPTICS | 大恒新紀元科技股份有限公司 China Daheng Group, Inc.
Optomeccanica

KINETIC SYSTEMS Vibration Control Solutions
Soluzioni per l'isolamento dalle vibrazioni

Per richiesta cataloghi e informazioni scrivere a : claudio_bellotti@fastwebnet.it

CAEN Electronic Instrumentation
Tools for Discovery

N1471

Another Module of the New NIM Programmable HV Power Supply Family

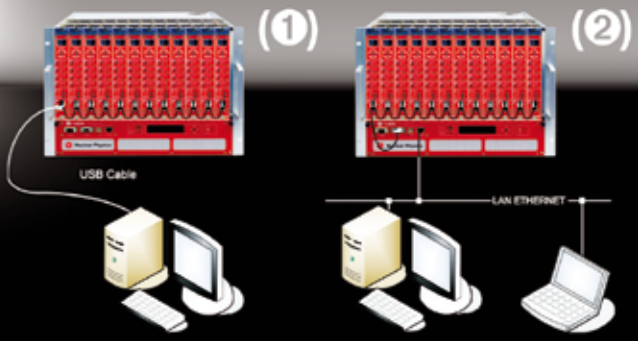
Can be a System!

- Remote control up to 128 channel
- Modules daisy-chained can operate in several Crate
- Optional Software Tool (SW1470) for remote control

Module control can take place either locally (graphic colour display) or remotely via USB (❶) or RS485 (❶).

It is also controllable via TCP/IP (❷) through the Smart Fan Unit of CAEN NIM 8301 crate.

Suitable for Germanium detectors.



High Performance - Low Cost - Low Ripple - High Resolution

- 5.5kV 300µA [1]; Ripple <5 mVpp [3]
- Selectable positive or negative polarity
- Very high current resolution (500 pA [2])
- Programmable ramp-up/ramp-down (1-500 V/s)
- Individual channel kill
- Interlock logic for board enable
- Under/Over-Voltage Status alarm
- Overcurrent and max. voltage protection
- SHV coaxial output connectors
- Common floating return

Model	# Ch	V Full Scale	I Full Scale	Vset/Vmon res.	Iset/Imon res.	Max Ripple
N1470/A/B	4/2/1	±8 kV	3 mA[1]	0.2 V	50 - 5 [2] nA	10÷30 mVpp
N1471/A/B	4/2/1	±5.5 kV	0.3 mA	0.1 V	5 - 0.5 [2] nA	5 mVpp [3]

(1) Max power: 9W (<3kV), 8W (>3kV) (2) Optional Imon x 10 zoom (3) @ 4kV/100µA

www.caen.it

Small details **Great differences**