

HANNO COLLABORATO A QUESTO
NUMERO:

F. Bagnoli, G. Benedek, A. Bettini,
L. Campanella, S. Centro, L. Cifarelli,
F. Fidecaro, S. Focardi, A. Gemma,
U. Haber-Schaim, E. Iarocci,
Ling-An Wu, W. A. Kamiński,
V. Mocella, P. Politi, A. Proykova,
R. A. Ricci, H. Wenninger

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 27 • N. 1 gennaio-febbraio 2010 • N. 2 marzo-aprile 2011

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORE
Giuseppe Grosso

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

SOMMARIO

- 3 **EDITORIALE**  / **EDITORIAL** 
L. Cifarelli
- 5 **SCIENZA IN PRIMO PIANO**
Virgo e il suo futuro
F. Fidecaro
- PERCORSI**
- 17 **AdA: il successo di un'idea**
E. Iarocci
- FISICA E...**
- 29 **Nuovi materiali dalle sorprendenti
proprietà ottiche**
V. Mocella
Ricerca & Industria
- 38 **Dalla meccanica all'high-tech
industriale: la piccola di Guidonia
è cresciuta**
A. Gemma
- IL NOSTRO MONDO**
- 41 **Programma della Scuola estiva
"Enrico Fermi" di Varenna**
- 46 **Joint EPS-SIF International
Workshop "Passion for Light"**
- 47 **XCVII Congresso Nazionale
Bandi dei concorsi a premi della SIF**
- 55 **Polish Physical Society: brief
overview**
W. A. Kamiński
- 59 **Recollections of the 1954 Varenna
School**
U. Haber-Schaim
Introduzione di R. A. Ricci
- 61 **Stasera usciamo: cosa danno
al caffè-scienza?**
P. Politi, F. Bagnoli
- 64 **Il Nuovo Cimento 150, 100, 50
anni fa**
A. Bettini
News
- 65 **Il polo museale della Sapienza**
L. Campanella
- 67 **Erice Prize - Science for Peace**
H. Wenninger
- 68 **Women in physics in China –
past and present**
Ling-An Wu
- 71 **"Two-in-one" could be beneficial
for the European research
infrastructures**
A. Proykova
- 73 **RECENSIONI**
- 79 **IN RICORDO DI(*)**
G. Comini (R. A. Ricci, S. Focardi)
- 80 **SCELTI PER VOI**
- 81 **ANNUNCI**

(*) 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 questo fascicolo) 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 disponibili 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.

Nel primo numero del 2011 del nostro giornale i lettori troveranno una novità: all'interno della rubrica IL NOSTRO MONDO è stata introdotta una sezione intitolata IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA, a cura di Sandro Bettini, in cui si propone una piccola scelta di stralci di interessanti articoli del passato. Ricordiamo che l'archivio storico de IL NUOVO CIMENTO è sempre gratuitamente disponibile per tutti i nostri Soci (<http://members.sif.it>).

Questo primo numero contiene, come di consueto, gli annunci dei corsi – quattro nel 2011 – della Scuola Internazionale di Fisica “Enrico Fermi” di Varenna, con i relativi moduli per le domande di ammissione, e l'annuncio del 97° Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si svolgerà quest'anno a L'Aquila, dal 26 al 30 settembre. Sono inoltre pubblicati i bandi dei vari premi che la SIF conferisce annualmente secondo tradizione. Da segnalare a questo proposito che tutte le domande per i concorsi a premi potranno essere effettuate solo per le vie telematiche.

Vorrei anche dare per il 2011 un annuncio speciale: la European Physical Society (EPS) e la Società Italiana di Fisica organizzeranno congiuntamente a Varenna, il 16 settembre, il Workshop Internazionale PASSION FOR LIGHT. Questo Workshop costituirà la giusta base per il lancio dell'iniziativa della Quantum Electronics and Optics Division (QEOD) dell'EPS per la proclamazione di un Anno Internazionale della Luce (International Year of Light-IYOL) sotto gli auspici delle Nazioni Unite. Con ogni probabilità questo avverrà nel 2014 o 2015. L'American Physical Society (APS) ha già appoggiato questa iniziativa che sarà prima sottoposta all'International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), e successivamente all'United Nation Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

Nelle colonne di questo numero troverete poi qualche riferimento alle novità editoriali della SIF, con la trasformazione de IL NUOVO CIMENTO B - BASIC TOPICS IN PHYSICS in una nuova sezione puramente elettronica di THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL, con il nuovo titolo di EPJ PLUS (<http://www.epj.org>). Proseguono invece con successo le pubblicazioni de LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO (IF = 3.5) e de IL NUOVO CIMENTO - COLLOQUIA AND COMMUNICATIONS IN PHYSICS (C).

Con il prossimo numero de IL NUOVO SAGGIATORE sarà distribuito l'ormai consueto RESOCONTO ANNUALE 2010 della SIF in cui verranno riassunte le sue molteplici attività e iniziative.

Segnalo infine che una prima “ondata” di Soci Invitati (ossia di neolaureati triennali in Fisica, pre-associati a titolo gratuito per un periodo di 2 anni) è entrata a far parte del contingente dei Soci Junior della SIF e, in buona parte, anche dell'EPS. Poiché dal 2 aprile di quest'anno ho il grande onore di presiedere entrambe queste società, me ne rallegro doppiamente.

Vorrei concludere dedicando le ultime righe di questo editoriale alle recenti e tragiche vicende giapponesi che ci hanno tutti fortemente colpiti, sia dal punto di vista umano sia da quello scientifico. A seguito del duplice disastro causato in Giappone dal terremoto e dallo tsunami dell'11 marzo 2011, ho inviato messaggi di solidarietà per conto della Società Italiana di Fisica ai Presidenti delle Società Giapponesi di Fisica e di Fisica Applicata, rispettivamente, per esprimere a tutta la comunità dei fisici giapponesi e alle loro famiglie la nostra più profonda partecipazione e commozione. In parallelo, a causa della difficile situazione connessa con la catastrofe dei reattori di Fukushima, l'Energy Group (EG) dell'EPS ha redatto una dichiarazione che può essere scaricata anche dal sito web della SIF e il cui ultimo paragrafo recita: *“Questa catastrofe mostra, ancora una volta, quanto sia importante per tutti noi l'approvvigionamento in energia e, quindi, quanto sia urgente perseguire la ricerca e lo sviluppo di un'ampia gamma di sorgenti di energia – rinnovabili, convenzionali e nucleari”*. Come comunità di scienziati, “[...] siamo pienamente consapevoli dei rischi potenziali e specifici delle diverse tecnologie per la produzione di energia e sosteniamo lo sviluppo scientifico e tecnologico delle opzioni migliori”.

In the first 2011 issue of our journal the readers will find out a novelty: in the column IL NOSTRO MONDO a new section has been implemented with the title IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA, edited by Sandro Bettini, where a short selection of passages from interesting papers published in the past is proposed. Let me remind you that the historical archive of IL NUOVO CIMENTO is still freely available for all Members (<http://members.sif.it>).

As is customary, this first issue contains the announcement of the courses – four this year – of the Varenna International School of Physics “Enrico Fermi”, with their respective application forms, as well as the announcement of the 97th National Congress of the Italian Physical Society to be held in L'Aquila this year, on 26-30 September. The competitions for the various prizes that SIF traditionally awards every year are also advertised. In this respect it should be noticed that all applications for prize competitions can only be submitted online.

I would also like to signal a special event in 2011: the European Physical Society (EPS), together with the Italian Physical Society, will jointly organize in Varenna, on September 16, the International Workshop PASSION FOR LIGHT. This Workshop will provide the right framework to launch the initiative of the Quantum Electronics and Optics Division (QEOD) of the EPS for the declaration of an International Year of Light (IYOL) under the auspices of the United Nations. Most likely this will be held in 2014 or 2015. The American Physical Society (APS) has already endorsed this proposal that will be first submitted to the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), then to the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

In the columns of this issue you will then find some news about SIF publications, in particular with respect to IL NUOVO CIMENTO B - BASIC TOPICS IN PHYSICS that has been transformed into a new electronic-only section of THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL and already started publication with the title EPJ PLUS (<http://www.epj.org>). The other SIF publications LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO (IF = 3.5) and IL NUOVO CIMENTO - COLLOQUIA AND COMMUNICATIONS IN PHYSICS (C) continue successfully as scheduled.

With the next issue of IL NUOVO SAGGIATORE the now usual RESOCONTO ANNUALE 2010 (Annual Report 2010) will be distributed, with a summary of the various activities and initiatives.

Finally I would like to point out that a first “wave” of Invited Members (namely new graduates of the three-year courses in Physics, who had been pre-associated for free for 2 years) are now officially part of the SIF Junior Members contingent and, to a large extent, also of the EPS one. Since as of April 2 this year I have the great honour to chair both these societies, I cannot but doubly rejoice.

Before closing, let me devote the last few lines of this editorial to the recent and tragic events of Japan that have strongly shocked all of us both from the personal and the scientific point of view. Following the combined disasters of the Japanese earthquake and tsunamis of March 11, 2011, on behalf of the Italian Physical Society I have sent messages of solidarity to the Presidents of the Physical Society of Japan and the Japan Society of Applied Physics to express our deepest care and sympathy to the whole community of Japanese physicists and their families. In parallel, due to the difficult situation connected with reactor catastrophe in Fukushima, the Energy Group (EG) of the European Physical Society has drawn up a statement which can be downloaded also from our SIF web site and whose last paragraph reads: *“This catastrophe shows, once more, how important energy supply is for all of us and, therefore, how urgent it is to pursue research and development of a wide portfolio of power sources – renewable, conventional and nuclear”*. As a community of scientists, “[...] we are aware of the potential and specific risks of the different energy technologies and support the scientific and technological development of the best options.”



ULTIMI VOLUMI PUBBLICATI



PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"

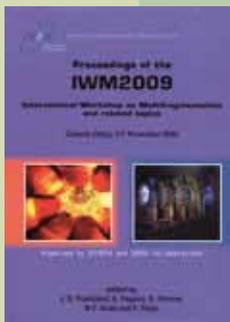
Course CLXXIV
 "Physics with Many Positrons"
 edited by A. Dupasquier and A. P. Mills jr.
 pp 620, € 195,00, SOCI SIF € 136,50

Course CLXXV
 "Radiations and Particle Detectors"
 edited by S. Bertolucci and U. Bottigli
 pp 190, € 105,00, SOCI SIF € 73,50



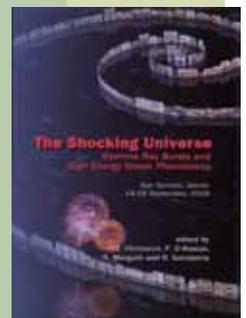
Per consultare l'elenco completo:

http://www.sif.it/SIF/it/portal/libri/collane/rendiconti_fermi



Collana CONFERENCE PROCEEDINGS – VOL. 101
 Proceedings of the IWM2009
 International Workshop on Multifragmentation and
 related topics
 edited by J. D. Frankland, A. Pagano, S. Pirrone,
 M-F. Rivet and F. Rizzo
 pp 350, € 90,00, SOCI SIF € 63,00

Collana CONFERENCE PROCEEDINGS – VOL. 102
 The Shocking Universe
 Gamma Ray Bursts and High Energy Shock Phenomena
 edited by G. Chincarini, P. D'Avanzo, R. Margutti and
 R. Salvaterra
 pp 628, € 150,00, SOCI SIF € 105,00



Per consultare l'elenco completo:

http://www.sif.it/SIF/it/portal/libri/collane/atti_conferenze

Per informazioni su prezzi e disponibilità scrivere a: subscriptions@sif.it

SOSTIENI LA SIF CON IL TUO 5%

Apponi la tua firma nell'apposito spazio della tua dichiarazione dei redditi (modello 730, Unico, CUD),
 là dove si prevede il sostegno delle organizzazioni senza fine di lucro (in alto a sinistra della scheda),
 e indica nello spazio sottostante il seguente numero:

00308310374

SCELTA PER LA DESTINAZIONE DEL CINQUE PER MILLE DELL'IRPEF (in caso di scelta FIRMARE in UNO degli spazi sottostanti)

<p>Sostegno del volontariato e delle altre organizzazioni non lucrative di utilità sociale, delle associazioni di promozione sociale e delle associazioni e fondazioni riconosciute che operano nei settori di cui all'art. 10, c. 1, lett a), del D.Lgs. n. 460 del 1997</p> <p>FIRMA</p> <p>Codice fiscale del beneficiario (eventuale) 00308310374</p>	<p>Finanziamento della ricerca scientifica e della università</p> <p>FIRMA</p> <p>Codice fiscale del beneficiario (eventuale) </p>
<p>Finanziamento della ricerca sanitaria</p> <p>FIRMA</p> <p>Codice fiscale del beneficiario (eventuale) </p>	<p>Sostegno delle attività sociali svolte dal comune di residenza</p> <p>FIRMA</p>
<p>Sostegno alle associazioni sportive dilettantistiche riconosciute ai fini sportivi dal CONI a norma di legge</p> <p>FIRMA</p> <p>Codice fiscale del beneficiario (eventuale) </p>	

VIRGO E IL SUO FUTURO

L'EVOLUZIONE DI UN POTENTE OSSERVATORIO PER SEGNALI GRAVITAZIONALI

FRANCESCO FIDECARO

Università di Pisa e INFN, Sezione di Pisa, Pisa, Italia

Questo articolo è dedicato alla memoria di Stefano Braccini, mente inquieta e appassionata che tanto ha dato per far progredire la scienza della rivelazione delle onde gravitazionali.

L'emissione di onde gravitazionali da parte di masse accelerate è tra le più importanti previsioni della relatività generale e lo studio di sistemi binari di stelle di neutroni ne ha dimostrato l'esistenza. Giungere ad ascoltare le notizie dall'Universo con "Radio Gravità" è una sfida sperimentale fuori dal comune. Obiettivo dell'antenna Virgo è registrare a terra questi segnali.

1 La Teoria Generale della Relatività

La gravitazione, la più debole tra le interazioni fondamentali, è ora descritta da una teoria molto elegante, la Teoria Generale della Relatività, formulata da Einstein nel 1916 [1]. Cardine della teoria è il Principio di Equivalenza tra sistemi di riferimento accelerati e sistemi di riferimento inerziali in presenza di un campo gravitazionale. Partendo dall'universalità della caduta dei corpi, il Principio di Equivalenza stabilisce che la forza apparente presente in un sistema di riferimento accelerato produce lo stesso effetto della forza di gravità in un sistema di riferimento inerziale. La forza di gravità si può quindi cancellare, localmente, in un riferimento con accelerazione pari a quella della gravità. Einstein completa l'enunciato del Principio di Equivalenza specificando che in tali sistemi di riferimento "in caduta libera" nei quali è assente la forza di gravità sono valide le altre leggi della fisica e in particolare la relatività ristretta. Gli effetti della gravitazione si manifestano in sistemi di riferimento accelerati rispetto a riferimenti in caduta libera, nei quali sono localmente assenti. Si può quindi dire che nascono dalla geometria dello spaziotempo unicamente, la quale determina le trasformazioni da un sistema di coordinate a un altro. La situazione è diversa nel caso dell'elettromagnetismo: comunque si scelga il sistema di riferimento non si possono azzerare simultaneamente i campi elettrici e magnetici: l'interazione elettromagnetica non è determinata solo da cambiamenti di riferimento.

Basandosi sull'invarianza della velocità della luce si possono misurare le proprietà intrinseche dello spaziotempo: la luce stabilisce la metrica di tale spazio. Si può essere in presenza di uno spazio euclideo corredato di una coordinata temporale (spazio di Minkowski) nel quale la luce percorre delle geodetiche a velocità c , oppure di uno spaziotempo curvo approssimabile a uno spazio di Minkowski su piccole distanze, dove la geometria euclidea è valida solo in prima approssimazione. La curvatura dello spaziotempo, ovvero la gravitazione, ne determina le geodetiche e quindi le traiettorie, o linee d'Universo, dei corpi in caduta libera.

Gli effetti della gravitazione sono geometrici: due raggi di luce inizialmente paralleli

che passano da una parte e dall'altra del Sole si potranno incontrare a distanza finita e in ultima analisi la rivelazione procede proprio per via geometrica.

Stabilito il legame tra gli effetti della gravitazione e la curvatura dello spaziotempo occorre chiedersi quale sia l'origine di quest'ultima. Dopo anni di gestazione Einstein è riuscito a scrivere delle equazioni che collegano la sorgente dell'interazione gravitazionale, la densità di massa-energia T_{00} , alla curvatura dello spaziotempo:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi \frac{G}{c^4} T_{\mu\nu}.$$

In queste equazioni G è la costante di Newton, c è la velocità della luce, $T_{\mu\nu}$ è il tensore energia-impulso e Λ è la cosiddetta costante cosmologica. Il tensore di Einstein $G_{\mu\nu}$ è definito a partire dal tensore di Ricci

$$G_{\mu\nu} = R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R_{\sigma}^{\sigma} g_{\mu\nu},$$

dove $R_{\mu\nu} = R^{\sigma}_{\mu\sigma\nu}$ e $R_{\mu\nu\rho\sigma}$ è il tensore di Riemann, collegato alle deviazioni dal parallelismo provocate dalla geometria. Come si fa usualmente, indici ripetuti implicano una somma su tutti i valori dell'indice. Rendere queste equazioni coerenti con le altre leggi della fisica ha richiesto un monumentale sforzo intellettuale da parte di Hilbert e di Einstein, con l'uso di importanti risultati tra l'altro dei matematici Gregorio Ricci Curbastro e Tullio Levi-Civita¹ che è giunto a conclusione nel 1916 con la pubblicazione della Teoria Generale della Relatività. Nelle equazioni è stata inserita anche la costante cosmologica Λ , che compare come un termine aggiuntivo rispetto a quello di curvatura.

Le equazioni di Einstein sono molto difficili da risolvere, perché non lineari e accoppiate tra loro. Infatti la metrica dedotta da $G_{\mu\nu}$ entra a sua volta a determinare la forma delle equazioni. Notevoli semplificazioni si hanno nel caso di piccole deviazioni dallo spazio tempo piatto, ovvero ipotizzando che la metrica si possa scrivere come

$$g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} + h_{\mu\nu}$$

dove $\eta_{\mu\nu}$ è la metrica di Minkowski, invariante per trasformazioni di Lorentz e $h_{\mu\nu} \ll 1$. Considerando solo i termini lineari le equazioni di Einstein si possono mettere nella forma

$$\nabla^2 h_{\mu\nu}^{\text{TT}} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} h_{\mu\nu}^{\text{TT}} = 16\pi \frac{G}{c^2} T_{\mu\nu}.$$

Questa è una equazione d'onda per la grandezza $h_{\mu\nu}^{\text{TT}}$ (ottenuta a partire da $h_{\mu\nu}$ con la scelta di una gauge

¹ Identità di Bianchi, Levi-Civita, Ricci.

“trasversa a traccia nulla”, TT, in modo simile a quanto si fa per l'equazione d'onda del campo elettromagnetico). Pertanto, in analogia con quanto avviene in presenza di cariche elettriche accelerate, si può avere emissione di onde gravitazionali da parte di masse accelerate.

Naturalmente ci sono differenze importanti, la carica e la corrente presente nelle equazioni di Maxwell si rappresentano come un quadrivettore, mentre la sorgente nel caso gravitazionale, che comprende densità di energia, flusso di energia e di quantità di moto, è un quadritensore. Così la grandezza che si propaga, $h_{\mu\nu}$ possiede due indici, al contrario del quadrivettore potenziale delle equazioni di Maxwell.

2 Radiazione e propagazione

Già nel 1905 Poincaré capì la necessità di una velocità di propagazione finita c dell'interazione gravitazionale e ipotizzò l'esistenza di “ondes gravifiques” [2]. Nella relatività generale tale possibilità fu individuata molto presto: Einstein presentò una “formula di quadrupolo” [3] per il calcolo della radiazione emessa da masse accelerate,

$$h_{ij} = \frac{2G}{Rc^4} [\ddot{Q}_{ij}^{\text{TT}}]_{t'=t-R/c}, \quad Q_{ij} = \int \rho \left(x_i x_j - \frac{1}{2} \delta_{ij} x_k x_k \right) d^3x,$$

risultante in un potenza irraggiata pari a

$$-\frac{dE}{dt} = \frac{G}{c^5} \langle \ddot{Q}_{ij}^{\text{TT}} \ddot{Q}_{ij}^{\text{TT}} \rangle.$$

Le costanti $G/c^4 = 8,23 \times 10^{-45} \text{ N m}^2 \text{ s}^{-2}$ e $G/c^5 = 2,74 \times 10^{-53} \text{ W}^{-1}$ sono molto piccole per cui è necessario prendere in considerazione masse molto grandi. Per avere grandi accelerazioni occorrono oggetti astrofisici compatti, le cui dimensioni non possono però essere inferiori al loro raggio di Schwarzschild

$$R_S = \frac{2GM}{c^2},$$

ovvero il raggio di un buco nero avente stessa massa.

Le sorgenti si troveranno quindi a distanze astronomiche e cosmologiche. A titolo di esempio, per una coppia di stelle di neutroni (1,4 + 1,4 masse solari) orbitanti a 1000 km l'una dall'altra a una distanza di 1 Mpc, $h \approx 3 \times 10^{-23}$.

3 Interazione con la materia

La presenza di una curvatura dello spaziotempo può essere rivelata confrontando diverse geodetiche. Sperimentalmente si considerano masse che percorrono queste geodetiche e

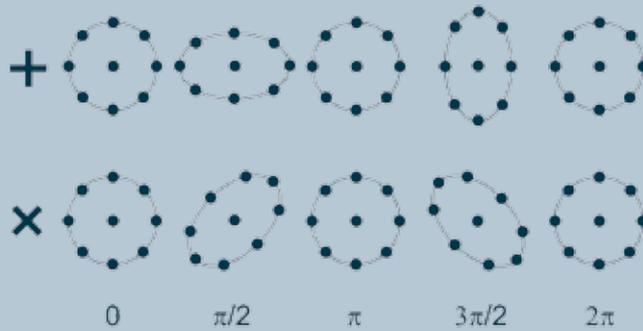


Fig. 1 Effetto del passaggio di onde gravitazionali con polarizzazione “+” e “x”.

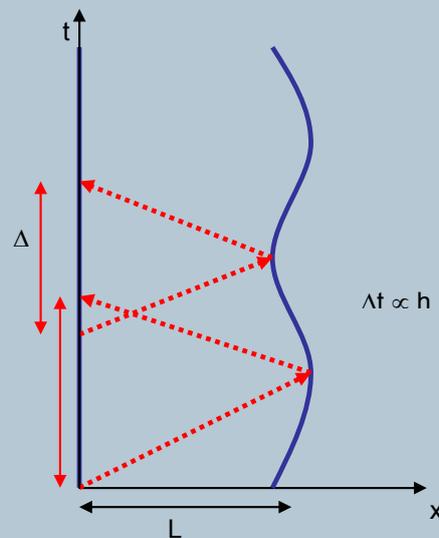


Fig. 2 Rivelazione di onde gravitazionali nel riferimento di una delle due masse.

si misura la distanza tra loro tramite il tempo di percorrenza di un raggio di luce. L'effetto del passaggio di un'onda gravitazionale su un insieme di masse libere disposte in cerchio è mostrato in [fig.1](#).

È importante notare che il tensore metrico misura rapporti tra intervalli di spazio o di tempo. Pertanto h misura variazioni relative di queste grandezze, le variazioni assolute saranno invece proporzionali sia ad h che alla grandezza stessa.

Per aumentare il segnale occorre quindi considerare masse a grande distanza l'una dall'altra. Però la dimensione del rivelatore stabilisce la banda di frequenze che sarà possibile osservare con maggiore efficienza. Infatti se il tempo necessario alla luce per percorrere la distanza è maggiore del semiperiodo dell'onda gravitazionale, l'effetto accumulato durante la semionda positiva inizia a cancellarsi.

La misura della curvatura è stata quindi ricondotta a registrazioni del tempo di percorrenza della radiazione elettromagnetica. Il metodo preferito è quello di usare un orologio e un ripetitore in maniera da misurare il tempo di andata e ritorno. In tal caso l'antenna ottimale è lunga un quarto della lunghezza d'onda gravitazionale. Una delle masse è uno specchio e, come mostrato in [fig. 2](#), si misurano

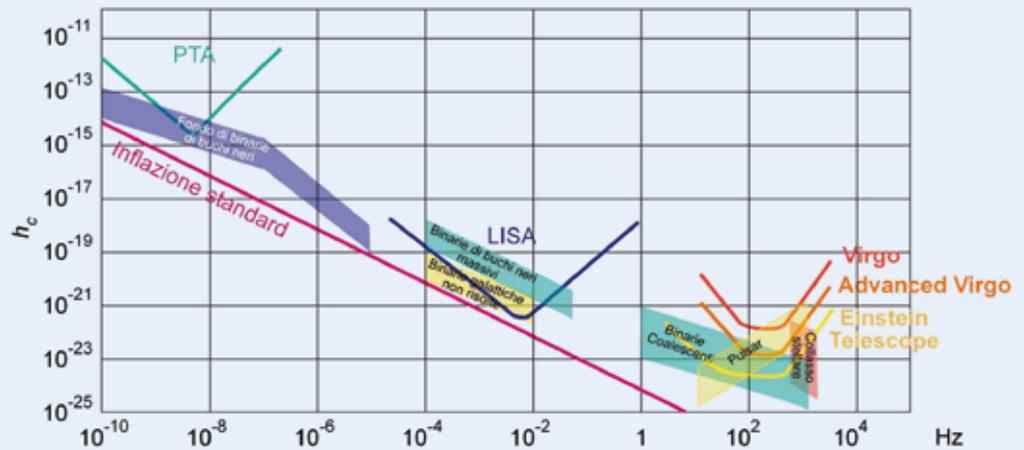
i tempi di andata e ritorno con un unico orologio. Questo è il principio di funzionamento dei rivelatori a grande banda passante a terra, come Virgo, e nello spazio (LISA) [4].

Alternativamente la misura può avvenire usando due orologi, solidali con ciascuna massa, e rilevando la durata del percorso di sola andata. Questo metodo può essere applicato tra un precisissimo orologio a terra e un satellite oppure una pulsar, dagli impulsi molto regolari. Misure di questo tipo sono state fatte con la sonda Cassini [5] e sono in corso di sviluppo progetti come European Pulsar Timing Array, Parkes Pulsar Timing Array, NANOGrav per l'uso di una rete di radiotelescopi che registri con grande precisione i segnali provenienti dalle pulsar più stabili presenti nella Galassia [6].

Se le masse non sono libere si misura invece l'energia risultante dalla compressione durante il passaggio dell'onda gravitazionale. Secondo questo principio sono stati costruiti i rivelatori risonanti Explorer, Nautilus, Auriga, Allegro e Niobe [7] che, dopo i lavori iniziali di J. Weber, hanno visto in Italia una intensa attività iniziata da Edoardo Amaldi e proseguita dai suoi collaboratori.

Infine lo studio dettagliato della radiazione cosmica di fondo e in particolare della sua polarizzazione promette

Fig. 3 Spettro in frequenza delle principali sorgenti di onde gravitazionali.



di mettere in evidenza una componente tensoriale delle fluttuazioni di temperatura e quindi l'esistenza di onde gravitazionali primordiali. Questo è stato l'obiettivo del volo in pallone di BOOMERanG-03 [8] ed è ora quello della missione Planck [9], lanciata nel 2009.

È con soddisfazione che si può osservare che per tutte queste linee di ricerca vi è un cospicuo contributo della fisica e dell'astrofisica italiana.

4 Lo spettro delle sorgenti

La ricerca di onde gravitazionali si estende su un ampissimo spettro di frequenze e coinvolge quindi le tecniche di rivelazione più varie. La fig. 3 mostra lo spettro delle possibili sorgenti di onde gravitazionali nella massima estensione immaginabile: lo spettro spazia da frequenze corrispondenti a migliaia di anni fino alle centinaia di kHz.

La frequenza del segnale è collegata alle dimensioni della sorgente e quindi anche alla sua massa, e ciò limita l'ampiezza della radiazione che potrà essere emessa. Ad esempio segnali oltre il kHz, se di provenienza astrofisica, avranno ampiezza molto bassa, mentre a frequenza bassissima saranno rivelabili segnali originati dall'evoluzione dell'Universo. In particolare sistemi binari di varie masse emettono con la massima ampiezza in intervalli di frequenza diversi.

4.1 Sistemi binari

Il sistema "da manuale" per lo studio della radiazione gravitazionale è un sistema composto da due oggetti astrofisici compatti, stelle di neutroni o buchi neri, percorrenti un'orbita molto stretta. In prima approssimazione i calcoli relativi alla radiazione non sono troppo complessi e la forma del segnale è definita da un piccolo numero di parametri. Parecchi sistemi binari in orbita stretta sono stati osservati

dai radiotelescopi [10]; nessuno di questi giungerà in tempi brevi alla fase finale dell'orbita: al sistema più famoso, quello scoperto da Hulse e Taylor, occorreranno circa 100 milioni di anni prima di giungere alla fase in cui le due stelle di neutroni sono talmente vicine da distruggersi a vicenda per i gradienti gravitazionali presenti o per contatto.

Si ritiene che a tali eventi catastrofici siano associati alcuni degli eventi più energetici osservati, i Short Gamma Ray Bursts, fiotti di fotoni di alta energia prodotti in un breve intervallo di tempo.

L'osservazione congiunta di onde gravitazionali dalla coalescenza di sistemi binari e di emissione transiente di energia elettromagnetica rappresenta uno degli obiettivi più interessanti della ricerca di onde gravitazionali, per la possibilità di conoscere in maggiore dettaglio questi violenti fenomeni. Il sistema binario costituisce una "candela" standard (o meglio una sirena standard, date le frequenze in gioco), per la quale si può calcolare l'ampiezza di emissione con notevole sicurezza. Con l'identificazione della galassia che ospitava il sistema sarà possibile misurare lo spostamento verso il rosso e confrontarlo con l'ampiezza attesa, studiando così in modo indipendente la legge di Hubble. La forma del segnale consentirà il confronto con le previsioni della relatività generale che sarà così messa alla prova in condizioni estreme di curvatura. Infine con sufficiente statistica si potrà studiare la distribuzione di materia in modo indipendente da quanto viene fatto con la radiazione elettromagnetica.

Ulteriore interesse nasce se i sistemi osservati sono di grande massa, quindi verosimilmente formati da buchi neri. L'ampiezza è maggiore e anche se si prevede che i sistemi siano più rari, le sorgenti potranno essere rivelate a distanze maggiori. Anche in questo caso il confronto tra esperimento e teoria sarà di grande interesse, infatti la forma del segnale, anche se molto complicata, scaturisce dai pochi parametri che identificano lo stato del buco nero.

La formazione di sistemi binari di oggetti compatti richiede una successione di eventi tale da risultare complessivamente un fenomeno raro. Per essere di interesse come sorgente di onde gravitazionali devono anche avere orbite molto strette. Le stime più recenti prevedono un evento all'anno entro una distanza di una settantina di Mpc. Gli strumenti attuali sono in grado di raccogliere segnali provenienti al più da 20 Mpc per cui la probabilità di rivelare un evento in un anno è di qualche percento [11], con una incertezza di $-2/+1$ ordini di grandezza.

4.2 Stelle di neutroni in rotazione

I più recenti elenchi di pulsar, sorgenti di impulsi elettromagnetici emessi con grande regolarità, contano ormai più di duemila oggetti. Dopo la loro scoperta, le pulsar furono rapidamente spiegate in termini di stelle di neutroni, prodotte del collasso gravitazionale del nucleo di una stella nel quale si formano neutroni con emissione di neutrini, attraverso la cattura dell'elettrone da parte del protone, che è favorita energeticamente dalla gravitazione. L'oggetto risultante, di densità altissima, ha un raggio dell'ordine di 10 km ed è in rapida rotazione (fino a molte centinaia di Hz), dovuta al momento angolare iniziale del progenitore. In diversi casi la stabilità della frequenza di rotazione risulta migliore di quella dei più perfezionati orologi atomici.

Sono possibili piccole asimmetrie nella distribuzione della massa che danno origine a un momento di quadrupolo e quindi ad emissione di onde gravitazionali. Queste asimmetrie, "montagne" sulla crosta della stella di neutroni, possono resistere al proprio peso solo se hanno un'altezza di pochi millimetri. Il momento di quadrupolo risultante è piccolo e l'ampiezza delle onde gravitazionali molto ridotta rispetto ai sistemi binari, ma la frequenza di emissione è molto ben definita. Il segnale può essere "ascoltato" su un lungo periodo, riducendo le fluttuazioni del rumore fino a rendere rivelabili segnali molto piccoli. L'osservazione di onde gravitazionali da pulsar, ma anche i limiti superiori che si possono mettere all'ampiezza di emissione, sono da confrontarsi con i valori di ellitticità permessi dalle varie equazioni di stato nucleari proposte per descrivere lo stato della materia ad altissima densità.

4.3 Collassi stellari

Quando la pressione in una stella non è più in grado di contrastare l'attrazione gravitazionale si ha un collasso della parte centrale, che avviene in tempi dell'ordine del millisecondo. Si ha emissione di onde gravitazionali per lo spostamento, non isotropo, di grandi quantità di materia. La banda di frequenza del segnale risultante si estende fino al kHz, ed è proprio a questa frequenza che sono sensibili i rivelatori di onde gravitazionali a barra risonante. Con l'affinamento dei modelli e la disponibilità di simulazioni del collasso stellare sempre più dettagliate si è visto che

la quantità di energia che si trasforma in irraggiamento gravitazionale è più bassa di quanto si pensasse inizialmente, per cui la rivelazione di un collasso stellare (in media uno ogni 30–40 anni nella nostra Galassia) probabilmente necessita di una sensibilità del rivelatore molto più elevata di quelle ottenute finora.

Anche in questo caso è di grande interesse l'osservazione simultanea di radiazione elettromagnetica a varie lunghezze d'onda e la rivelazione dei neutrini emessi. La forma del segnale gravitazionale, la sequenza temporale, le intensità osservate possono concorrere ad una comprensione molto dettagliata di quanto avviene al momento del collasso stellare.

4.4 Fondo stocastico

I modelli cosmologici prevedono la presenza di un fondo stocastico di onde gravitazionali, in analogia con quanto osservato per la radiazione di fondo elettromagnetica. Tale fondo è rivelabile come eccesso di rumore, con una certa dipendenza dalla frequenza. Il modello standard di inflazione prevede un livello molto basso per tale fondo, per misure fatte a frequenze dell'ordine dell'Hz. A frequenze molto più basse il fondo può essere più elevato, come mostrato in fig. 3.

Onde gravitazionali con periodi dell'ordine delle centinaia di migliaia di anni possono essere studiate attraverso la radiazione elettromagnetica di fondo. Una rivelazione di un fondo stocastico di origine cosmologica avrebbe importantissime conseguenze sulla nostra comprensione dell'Universo. Se poi questa avvenisse a frequenze alte, come ipotizzato in alcuni modelli, si aprirebbe un affascinante capitolo di nuova fisica.

5 Rivelazione interferometrica con larga banda passante

Come detto sopra è dal tempo di percorrenza di un raggio di luce da una massa libera a un'altra che si deduce la curvatura dello spaziotempo. La precisione della misura dipende da quanto il moto delle masse è disturbato, dalla stabilità dell'orologio utilizzato e dalla precisione nel determinare i momenti di partenza e di arrivo. Nel caso di esperimenti da condurre sulla Terra si usano masse sospese, praticamente libere in direzione orizzontale, e tecniche di interferometria ottica.

Gli interferometri per onde gravitazionali come Virgo devono misurare tempi con precisione relativa dell'ordine di 10^{-21} , usando la fase dell'onda luminosa, ma, allo stato attuale, non vi sono sorgenti in grado di soddisfare questo requisito. Fortunatamente la richiesta può essere ridotta attraverso una misura differenziale nella quale si confrontano le fasi dei campi elettromagnetici lungo percorsi in direzioni diverse. La relatività ci viene in aiuto: supponendo di avere

l'effetto massimo nella direzione x , si avrà effetto massimo ma con segno opposto nella direzione y (fig. 1). Risulta così naturale costruire un interferometro alla Michelson-Morley, dove si confrontano tempi di percorrenza lungo due bracci perpendicolari.

L'interferometro Virgo è stato costruito secondo questo principio, cercando di anticipare per quanto possibile eventuali problemi. Trattandosi di uno strumento di prima generazione, mentre la natura dei disturbi attesi era nota, quantificare il loro effetto avrebbe richiesto di avere lo strumento completamente in funzione. In seguito descriveremo i principali rumori e le soluzioni adottate da Virgo.

5.1 Rumore in posizione

Per interferometri a terra non è il caso di considerare masse in caduta libera (!). Ciò nonostante è possibile rendere tali masse il più possibile libere da influenze locali. Il più importante disturbo della posizione di uno specchio proviene dalle vibrazioni sismiche, che generano spostamenti dell'ordine di 10^{-9} m su scale di tempo del decimo di secondo. Tali movimenti superano di dodici ordini di grandezza l'effetto che si vuole misurare. L'isolamento sismico è quindi un componente essenziale di un rivelatore di onde gravitazionali. Un disturbo di carattere fondamentale presente su gran parte della banda di rivelazione è il cosiddetto rumore termico, risultante dalle fluttuazioni termodinamiche del sistema accoppiato all'ambiente. Il rumore Johnson presente in un elemento dissipativo elettrico come un resistore ne è un esempio. Per uno specchio sospeso in ultra alto vuoto si possono avere diverse fonti di disturbo legate alle fluttuazioni termodinamiche: fluttuazioni della pressione residua, fluttuazioni della pressione di radiazione termica, che sono trascurabili, e infine fluttuazioni dello stato del filo di sospensione. Queste ultime si traducono in sforzi microscopici casuali che muovono lo specchio sospeso in maniera confrontabile con il segnale atteso. L'ampiezza del rumore risultante sarà determinata dalla risposta meccanica del sistema agli sforzi generati nel filo di sospensione e lo spettro di rumore per la posizione dello specchio avrà la tipica forma della curva di risonanza dell'oscillatore armonico. A frequenze molto maggiori della frequenza di risonanza il rumore termico è tanto minore quanto è stretta la risonanza meccanica, essendo fissato dall'equipartizione di energia il rumore osservato sull'intera banda di frequenza. L'abbassamento del rumore termico, a temperatura fissata, passa quindi attraverso l'uso di materiali e interfacce con bassissima dissipazione. Tra questi, la silice consente di raggiungere fattori di merito per il pendolo di oltre 10^8 , ovvero tempi di decadimento di diversi anni! Sfortunatamente in altre parti dell'interferometro è necessario usare per altre funzioni materiali con elevato attrito interno. Di tale natura sono gli strati depositati sugli

specchi per ottenere l'esatto grado di riflettività richiesto dallo schema ottico adottato.

Un altro rumore a carattere fondamentale proviene dalle fluttuazioni del campo gravitazionale generato dal moto delle masse locali. I piccoli spostamenti e le fluttuazioni di densità nella crosta terrestre dovuti al passaggio di onde sismiche, le fluttuazioni di densità dell'atmosfera possono esercitare forze variabili, indistinguibili dall'effetto di un'onda gravitazionale. Per le perturbazioni di origine sismica, proporzionali al rumore sismico medesimo, l'effetto può essere ridotto posizionando l'interferometro sotto terra, dove le vibrazioni sono ridotte. L'effetto aumenta man mano che diminuisce la frequenza per cui rivelare onde gravitazionali con periodo maggiore del secondo richiede di posizionare il rivelatore nello spazio.

Infine l'uso della luce per la misura di posizione introduce un ulteriore rumore di posizione, dovuto alle fluttuazioni della pressione di radiazione generate dalla distribuzione statistica dei fotoni. Si possono ridurre gli effetti della pressione di radiazione aumentando la massa degli specchi, arrivando a diverse decine di chilogrammi.

5.2 Rumore di lettura

La differenza di fase fra i due percorsi della luce in un interferometro di Michelson viene rivelata misurando l'intensità della luce risultante dall'interferenza. L'espressione per lo sfasamento è

$$\Delta\Phi = \frac{4\pi L}{\lambda} h,$$

dove L è la lunghezza del braccio, λ è la lunghezza d'onda della luce e h è l'ampiezza dell'onda. Per $h \sim 10^{-23}$ e bracci di 3 km la differenza di cammino ottico è di 6×10^{-20} m, usando $\lambda = 1 \mu\text{m}$, si ottiene una differenza di fase di 4×10^{-13} rad. Questa può essere rivelata contando i fotoni; con statistica di Poisson ne occorrono 10^{25} ovvero la potenza della sorgente luminosa deve essere di circa 2,5 MW per un tempo di misura di un secondo. Si tratta di una potenza difficile da ottenere in continua con la necessaria stabilità. Per ovviare a questa difficoltà si aumenta la distanza percorsa dalla luce attraverso riflessioni multiple. La tecnica usata è quella di avere al posto dei bracci delle cavità ottiche risonanti di tipo Fabry-Perot, nelle quali si è deciso di moltiplicare della distanza percorsa per un fattore dell'ordine di 100, e questo porta a una riduzione della potenza richiesta di un fattore 10000. Una maggiore precisione sulla fase richiede una maggiore potenza della sorgente, che però non può aumentare indefinitamente perché aumenta la pressione di radiazione. Questa è una manifestazione su masse di diversi chilogrammi, del principio di indeterminazione di Heisenberg.

La fig. 4 mostra i principali contributi al rumore di un interferometro e la banda di frequenza di interesse.

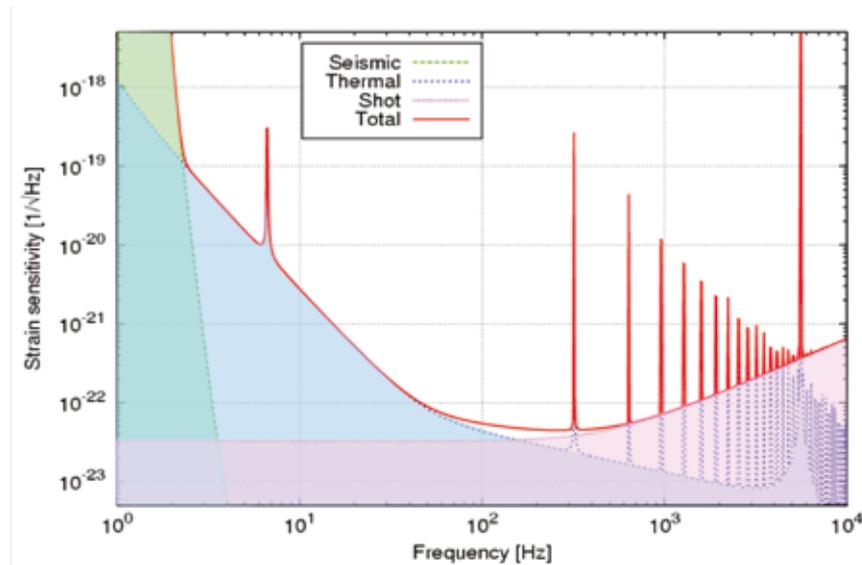


Fig. 4 I principali rumori per un rivelatore interferometrico.



Fig. 5 Veduta aerea dell'interferometro Virgo.

6 L'Interferometro Virgo

L'interferometro Virgo ha origine dall'incontro negli anni '80 tra Adalberto Giazotto, della Sezione INFN di Pisa e Alain Brillet, dell'allora Laboratoire de l'Horloge Atomique. Entrambi si occupavano di metodi sperimentali di altissima precisione con obiettivo la costruzione di un rivelatore per onde gravitazionali. Alain Brillet è un ottico finissimo mentre Adalberto Giazotto aveva iniziato un ampio programma di ricerca per consentire la rivelazione a bassa frequenza, osservando la grande quantità di pulsar che possono potenzialmente emettere onde gravitazionali con frequenza intorno a 10 Hz e intuendo che le sorgenti, composte da grandi masse in movimento, sarebbero state più numerose a bassa frequenza. Tale ricerca ha portato allo sviluppo del "Superattenuatore", una soluzione in grado di soddisfare i requisiti presenti e futuri di interferometri terrestri e un elemento fondamentale di Virgo.

Su questa base fu costituita nel 1992 la Collaborazione

Virgo² che ha concepito l'intero interferometro e lo ha messo in funzione. Nel 2000, per la gestione dello strumento e del sito (fig. 5) fu creato l'European Gravitational Observatory (EGO), consorzio partecipato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e dal Centre National de la Recherche Scientifique francese.

Il principio del Superattenuatore è quello di usare oscillatori armonici meccanici in cascata, che riducono l'ampiezza di oscillazione per frequenze significativamente maggiori della loro frequenza di risonanza. La necessità di operare in tutti i gradi di libertà, di non reintrodurre rumore attraverso controlli attivi, la realizzazione di sistemi con la necessaria

² La Collaborazione Virgo è ora composta dalle sezioni INFN di Genova, Firenze-Urbino, Napoli, Padova-Trento, Perugia, Pisa, Roma La Sapienza e Roma Tor Vergata, mentre dal lato francese ci sono i laboratori del CNRS-IN2P3 di Annecy, Lione, Nizza, Orsay, Parigi 7. Sono inoltre presenti il laboratorio olandese di Nikhef, l'Accademia delle Scienze polacca e quella ungherese.

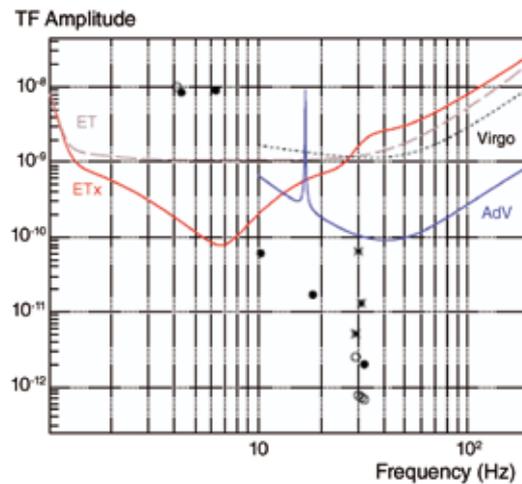


Fig. 6 Requisiti di attenuazione sismica per Virgo, Advanced Virgo ed Einstein Telescope (ET). I punti rappresentano misure o limiti superiori sperimentali.

robustezza strutturale ma con frequenze di risonanza molto basse è durata più di un decennio e ha condotto a un sistema utilizzabile anche per una seconda generazione di rivelatori e, con alcuni cambiamenti di scala, anche per la terza generazione. La [fig. 6](#) mostra le caratteristiche di attenuazione confrontate con i requisiti per le varie generazioni di interferometri (Virgo, Advanced Virgo, Einstein Telescope).

Dal lato ottico è stato adottato uno schema che comprende nei bracci delle cavità Fabry-Perot, con “finesse” 150, corrispondente ad un allungamento del cammino ottico di circa 100. La massima precisione (viene usato il termine sensibilità) prevede che l’interferometro lavori in condizioni di frangia scura, quindi i due fasci interferiscono distruttivamente e il fotodiodo, in assenza di segnale, non riceve luce. La luce che interferisce costruttivamente viene rimandata in direzione della sorgente e andrebbe persa. Viene introdotto sul percorso un ulteriore specchio semiriflettente che consente di far ricircolare la luce nell’interferometro, aumentando così la potenza disponibile di un fattore che è risultato essere oltre 30. Lo schema ottico dell’interferometro è mostrato in [fig. 7](#).

È qui il caso di sottolineare un aspetto operativo che ha un ruolo fondamentale nella sensibilità dello strumento. Gli specchi sospesi sono liberi di muoversi e quindi deve essere utilizzato un sistema di controllo per mantenere tutto l’interferometro in condizioni di massima sensibilità. Questo richiede che le due cavità Fabry-Perot siano in risonanza, che la luce dai due bracci interferisca distruttivamente e che lo specchio di ricircolo si trovi nella corretta posizione per ricircolare la luce con la stessa fase della luce entrante. I segnali di errore per il sistema di controllo non possono essere misurati da terra, ciò equivarrebbe a inchiodare gli specchi al suolo. Si usano i vari fasci di luce circolanti nell’interferometro che, attraverso varie interferenze, misurano le distanze relative tra gli specchi. Vi sono vari segnali utilizzabili e la scelta dei migliori richiede un lungo studio sperimentale.

Ma forse il problema più grande è rappresentato

dall’estensione dinamica delle forze che occorre esercitare: si deve essere in grado di correggere il sisma, dell’ordine del μm su tempi di un secondo, e altresì non introdurre rumore a livello di 10^{-20} m, ovvero il sistema deve consentire una dinamica di 10^{14} su tempi dell’ordine del secondo.

Tale dinamica non si può ottenere con un singolo dispositivo ma occorre agire in cascata, “raffreddando” gradualmente il moto degli specchi e usando segnali di errore sempre più precisi. Il sistema compie alcune decine di transizioni prima di giungere al punto di lavoro chiamato “Science mode”.

Virgo e i suoi omologhi statunitensi del progetto LIGO rappresentano la prima generazione di tali strumenti e tutto quello che è stato descritto nei paragrafi precedenti è stato concepito e realizzato dai fisici sperimentali passo passo, scoprendo le peculiarità e le idiosincrasie dello strumento che avevano costruito. Il progresso fatto nella sensibilità è mostrato in [fig. 8](#) dove si vedono le varie curve di sensibilità alle onde gravitazionali man mano che progrediscono i lavori, su un periodo, dopo la costruzione, che si estende su ben sei anni.

7 Astronomia gravitazionale

Gli interferometri per onde gravitazionali si sono mostrati, dopo anni di sviluppo, strumenti affidabili: negli anni 2009-2010 si sono svolte campagne di raccolta dati 24 ore su 24 con tempi morti minori del 20%. Questo ha consentito ai tre grandi interferometri terrestri (oltre che Virgo i due interferometri del progetto LIGO, a Hanford nello stato di Washington e a Livingston, nella Louisiana, di mettere in piedi una analisi in linea che consenta di riconoscere con piccoli tempi di latenza eventi in coincidenza. Si tratta di una analisi complessa: con strumenti orientati diversamente la forma del segnale non è la stessa per la presenza di due polarizzazioni dell’onda, e le coincidenze devono comprendere una finestra temporale di alcuni centesimi di secondo, per tenere conto dei diversi tempi di arrivo. Quest’ultima informazione è

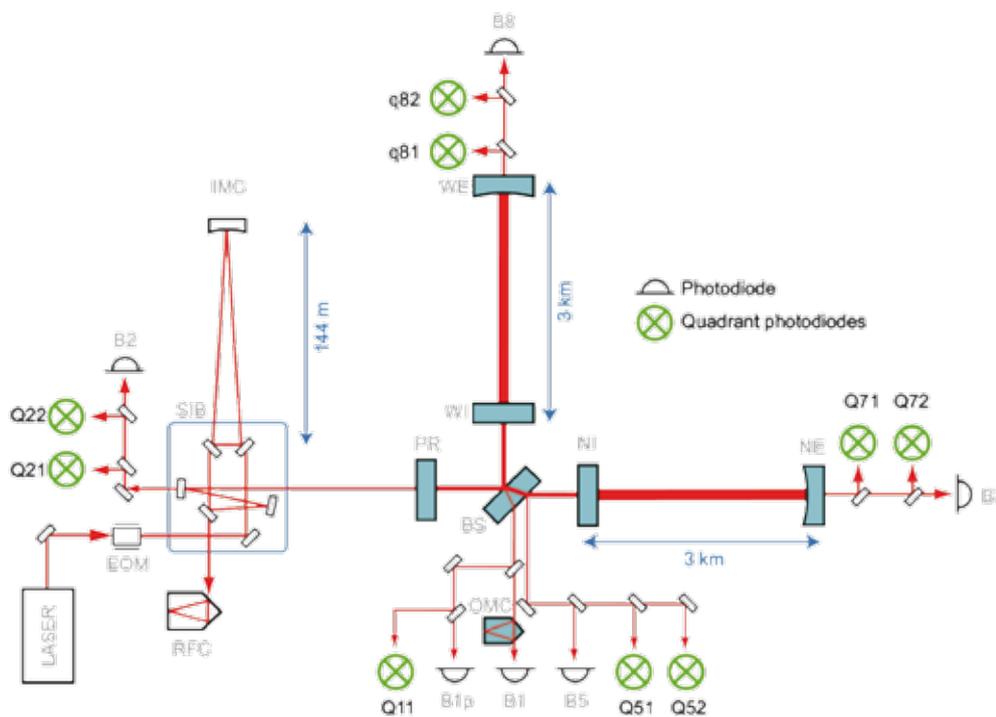


Fig. 7 Schema ottico di Virgo. Gli specchi principali sono BS (beam splitter), NI e WI (North e West Input), NE e WE (North e West End), PR (power recycling). Il segnale è registrato dal fotodiode B1. IMC e OMC sono rispettivamente l'Input e l'Output Mode Cleaner, cavità ottiche triangolari che agiscono da filtro nei confronti di modi diversi dal modo fondamentale TEM₀₀.

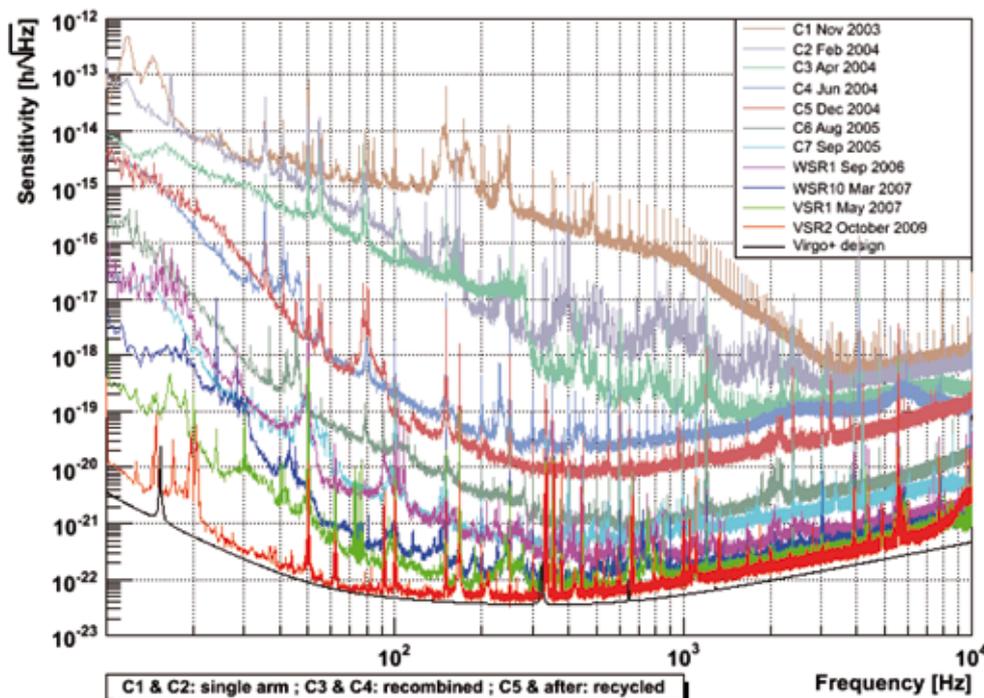


Fig. 8 Progresso della sensibilità di Virgo.

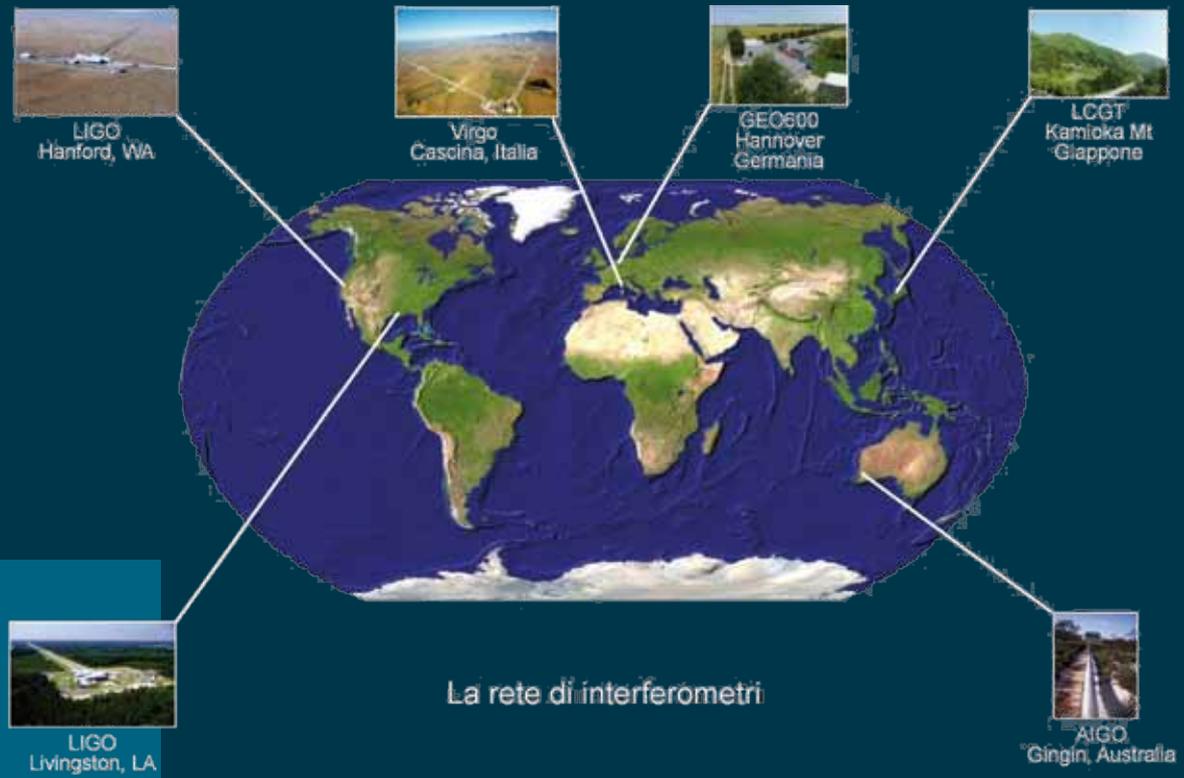
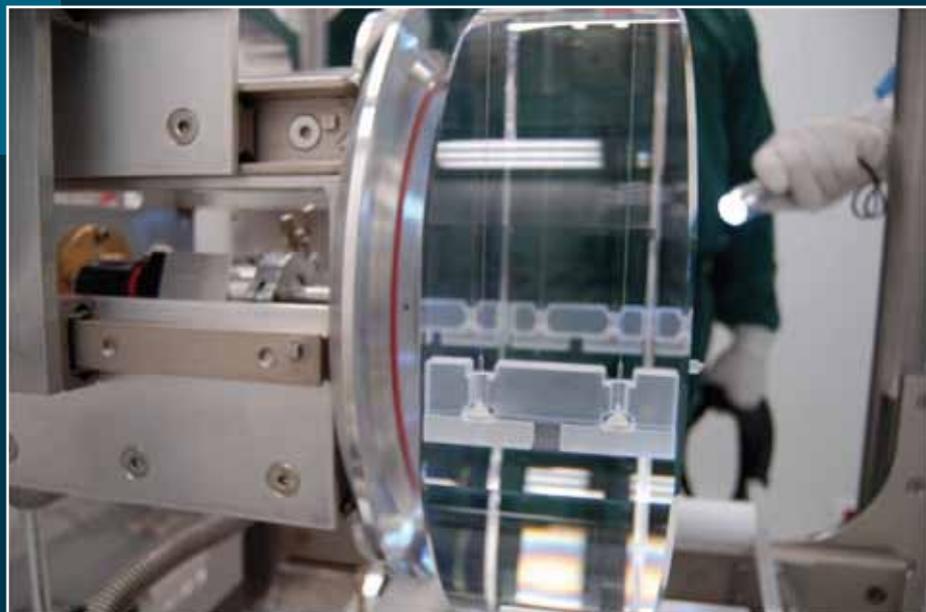


Fig. 9 La rete mondiale di interferometri.

Fig. 10 Specchio di Virgo sospeso con fibre di silice.



importantissima in quanto permette di ricostruire, entro qualche grado, la direzione di provenienza dell'onda gravitazionale. La rete di interferometri (fig. 9), in grado di ascoltare segnali da qualsiasi direzione, può segnalare così a telescopi e radiotelescopi dove puntare i loro strumenti. Ciò consente di fare osservazioni di eventi transitori e ottenere informazione sui meccanismi che governano i fenomeni più energetici presenti nell'Universo, raccogliendo la successione temporale delle varie forme di radiazione osservata: gravitazionale, di neutrini, elettromagnetica di varia energia.

Le procedure di analisi sono state collaudate in questo periodo e, anche se la sensibilità complessiva della rete era ancora bassa per assicurare una rivelazione, tutto sarà pronto per l'entrata in funzione intorno al 2015 della seconda generazione di interferometri, progettati per essere dieci volte più sensibili.

Per segnali periodici la rete di interferometri può essere sostituita da un singolo strumento che registra un segnale mentre la Terra si trova in diverse posizioni. Si misura la fase dell'onda in momenti diversi lungo l'orbita terrestre per poi riportare queste osservazioni ad uno stesso istante e ricostruire la direzione di provenienza dell'onda gravitazionale. Di nuovo, questo avviene usando uno strumento che è sensibile a segnali proveniente praticamente da qualsiasi direzione, ma in questo caso il tempo di elaborazione dei dati può risultare proibitivo.

8 La seconda generazione: Advanced Virgo

Il patrimonio di conoscenze e pratica sperimentale ha consentito l'elaborazione di un disegno di seconda generazione, chiamato "Advanced Virgo", con l'ambizioso obiettivo di migliorare di un ordine di grandezza la sensibilità dello strumento e quindi di esplorare un volume di Universo mille volte più elevato, grazie al fatto che il campo h decresce come l'inverso della distanza (al contrario i flussi di particelle decrescono come l'inverso della distanza al quadrato). Secondo stime riviste ora con grande attenzione un aumento del tasso di conteggio di sorgenti binarie coalescenti di un fattore 1000 dovrebbe portare alla rivelazione di diverse decine, se non centinaia, di eventi all'anno.

La prima generazione era in grado, fosse stata la Natura meno avara di sorgenti, di ottenere i primi segnali di onde gravitazionali. Certamente è stata in grado di dimostrare l'affidabilità degli strumenti messi in opera in vista di un funzionamento continuo, in regime di osservazione.

Mentre si svolgeva la messa a punto degli interferometri attuali, diversi programmi di ricerca e sviluppo hanno consentito di proporre soluzioni da adottare nella seconda generazione. Tra queste l'idea di sospendere gli specchi non usando fili di acciaio armonico, con basso attrito interno, ma usando fibre di silice, un materiale dalle qualità meccaniche

decisamente migliori. Dopo un lungo sviluppo reso difficile dalla fragilità del materiale si è riusciti a sospendere con successo specchi di 20 kg con quattro fibre di 200 μm di diametro (fig. 10), che sono stati installati l'anno scorso in Virgo, introducendo uno dei primi elementi del rivelatore di seconda generazione.

Altri miglioramenti riguardano la potenza del laser, che può arrivare a 200 W, contro gli attuali 60, e lo studio di configurazioni ottiche ottimizzate.

La costruzione di questi rivelatori è iniziata e si prevede che possano entrare in funzione nel 2015 per riprendere le campagne di presa dati per le quali è essenziale la presenza simultanea di almeno tre interferometri. Si conta così svolgere buona parte del programma scientifico delineato all'inizio, e in particolare poter svolgere studi dettagliati degli eventi dovuti ai sistemi binari.

9 Prospettive

Lo sviluppo delle tecniche di rivelazione sta continuando, confortato dalla comprensione degli strumenti ottenuta dalla prima generazione. È della fine dell'anno scorso la notizia dell'approvazione della costruzione in Giappone di un interferometro di 3 km, sotterraneo (sotto il monte Kamioka, ben noto ai fisici delle particelle) e operante a bassa temperatura: LCGT (Large Scale Cryogenic Gravitational Wave Telescope). Sono previste sospensioni che sfruttano gli stessi principi del Superattenuatore per cui potrebbe risultare essere il primo strumento in grado di estendere la sua banda di rivelazione ben sotto 10 Hz. Il guadagno ottenuto dal funzionamento a bassa temperatura può consentire di raggiungere livelli di sensibilità unici. Si tratta di un programma che prevede periodi di osservazione nel 2016 o nel 2017 completando la rete di interferometri già esistenti.

Un altro sviluppo di grandissimo interesse è quello relativo all'uso di stati di luce o di vuoto non standard, nei quali le osservabili fase e numero di fotoni (che non commutano) hanno dispersioni rispettivamente minore e maggiore che nei fasci di luce standard. I dispositivi sviluppati, finora oggetto di studio in laboratorio, sono in fase di sperimentazione nei grandi interferometri. Il vantaggio previsto è notevole: ridurre il rumore in fase di un fattore 4 con metodi tradizionali richiede di aumentare la potenza di una sorgente di luce standard di un fattore 16. La stessa riduzione si ottiene già a parità di potenza della sorgente confortevolmente in laboratorio con l'uso di stati non standard [12].

Rimane aperta la questione dell'attrito interno degli strati depositati sugli specchi. Il rumore termico rappresenta attualmente la limitazione maggiore, ma è sperabile che qualche sviluppo riguardante i materiali possa far progredire anche questa area.

10 La terza generazione

In base alle conoscenze attuali la seconda generazione di interferometri dovrebbe registrare decine se non centinaia di eventi di binarie coalescenti in un anno, fino a distanze di alcune centinaia di Mpc. Ciò consentirà uno studio sistematico dei sistemi astrofisici, una maggiore comprensione degli eventi violenti presenti nelle galassie, uno studio dinamico della relatività generale in condizioni di campo forte e, forse, la scoperta di qualche fenomeno sconosciuto.

Nel periodo in cui opereranno gli interferometri si prevede che le tecniche sperimentali si affinino ulteriormente, e in particolare che si possano diminuire ancora di più i rumori provenienti da fenomeni fondamentali quali il rumore termico e il rumore di conteggio dei fotoni. In tal senso è in corso uno studio per un possibile progetto di un osservatorio gravitazionale, chiamato Einstein Telescope [13]. Si conta di aumentare di nuovo di un fattore 10 la distanza di rivelazione delle sorgenti, e inoltre di abbassare il limite in frequenza per accedere a sistemi di massa più elevata oppure che vedano la frequenza dell'onda gravitazionale spostata verso il rosso per la grande distanza.

Si punta ad un interferometro posto sotto terra in una zona con basso microsisma, per ridurre il più possibile le fluttuazioni della gravità locale. Si ritiene che i bracci possano avere una lunghezza di una decina di chilometri e che gli specchi possano essere portati alla temperatura di qualche decina di gradi kelvin. Infine già oggi è possibile aggirare il limite dettato dal principio di indeterminazione di Heisenberg, aumentando le fluttuazioni sul numero di fotoni e diminuendo di conseguenza quelle sulla fase.

L'insieme di questi miglioramenti porterà ad uno strumento con straordinarie capacità di osservazione, in grado di scandagliare le parti più remote dell'Universo, con un occhio completamente nuovo rispetto a quanto è stato fatto finora.

Ringraziamenti

Il lavoro qui descritto è frutto dell'impegno di numerosi fisici che hanno contribuito, con il loro ingegno, a far diventare realtà la misura di quantità piccole fino all'inverosimile. Arrivare fin qui non sarebbe stato possibile senza la fiducia e il sostegno finanziario da parte dell'INFN, del CNRS, e di tutti coloro che hanno voluto credere in questa impresa.

Bibliografia

- [1] A. Einstein, "Sitzungsberichte" (Preußische Akademie der Wissenschaften) 1916, p. 688.
- [2] H. Poincaré, *Comptes Rendus Ac. Sci. Paris*, 140 (1905) 1504, anche in *Oeuvres*, vol. 9 (Gauthier-Villars, Paris) p. 489; "Sur la dynamique de l'électron", *Rend. Circolo Mat. Palermo*, 21 (1906) 129, anche in *Oeuvres*, vol. 9 (Gauthier-Villars, Paris), p. 494.
- [3] A. Einstein, "Sitzungsberichte" (Preußische Akademie der Wissenschaften) 1918, p. 154.
- [4] Virgo Collaboration (F. Acernese *et al.*), *Class. Quantum Gravit.*, 25 (2008) 184001; LIGO Collaboration (B. Abbott *et al.*), *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A*, 517 (2004) 154; GEO600 Collaboration (B. Willke *et al.*) *Class. Quantum Gravit.*, 24 (2007) S389; TAMA Collaboration (R. Takahashi *et al.*) *Class. Quantum Gravit.*, 25 (2008) 114036; LCGT Collaboration (K. Kuroda *et al.*) *Int. J. Mod. Phys. D*, 5 (1999) 557; ALIGO Collaboration (futuro) (D. G. Blair *et al.*) *J. Phys.: Conf. Ser.*, 122 (2008) 012001; LISA Collaboration (H. Araújo *et al.*) *J. Phys.: Conf. Ser.*, 66 (2007) 012003.
- [5] J. W. Armstrong *et al.*, *Astrophys. J.*, 599 (2003) 806.
- [6] EPTA Collaboration (R. van Haasteren *et al.*) *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 395 (2009) 1005; PPTA Collaboration (G. B. Hobbs *et al.*) *Class. Quantum Gravit.*, 27, 084013; NANOGrav Collaboration, arXiv:0909.1058v1 (2009) <http://arxiv.org/abs/0909.1058>
- [7] E. Amaldi *et al.*, *Astron. Astrophys.*, 216 (1989) 325; I. S. Heng *et al.*, *Phys. Lett. A*, 218 (1996) 190; L. Baggio *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 94 (2005) 241101; E. Mauceli, Z. K. Geng, W. O. Hamilton *et al.*, *Phys. Rev. D*, 54 (1996) 1264 2; D. Blair e L. Ju, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 283 (1996) 648 1.
- [8] S. Masi *et al.*, *Astron. Astrophys.*, 458 (2006), 687, astro-ph/0507509.
- [9] The Planck Collaboration, "The Scientific Program of Planck", scaricabile in <http://www.rssd.esa.int/Planck>.
- [10] Un estensivo catalogo di pulsar si trova su www.atnf.csiro.au/people/pulsar/psrcat/
- [11] J. Abadie *et al.*, *Class. Quantum Gravit.*, 27 (2010) 173001.
- [12] H. Vahlbruch *et al.*, *Class. Quantum Gravit.*, 27 (2010) 084027.
- [13] M. Punturo *et al.*, *Class. Quantum Gravit.*, 27 (2010) 194002.

Francesco Fidecaro

Francesco Fidecaro è Spokesperson della Collaborazione Virgo e Direttore Scientifico del Consorzio EGO. Nel campo delle onde gravitazionali si è dedicato allo sviluppo della rivelazione a bassa frequenza, lavorando al sistema di isolamento sismico e allo studio dei disturbi ambientali presenti nello strumento. In precedenza ha svolto esperimenti di fisica della particelle, studiando i mesoni con charm con l'esperimento FRAMM, successivamente ha partecipato allo sviluppo e alla realizzazione della Time Projection Chamber dell'esperimento Aleph. Si è laureato nel 1978, allievo della Scuola Normale; insegna Fisica Generale all'Università di Pisa. Si interessa di Acustica Ambientale e del trasferimento tecnologico dei risultati della ricerca.

AdA: IL SUCCESSO DI UN'IDEA

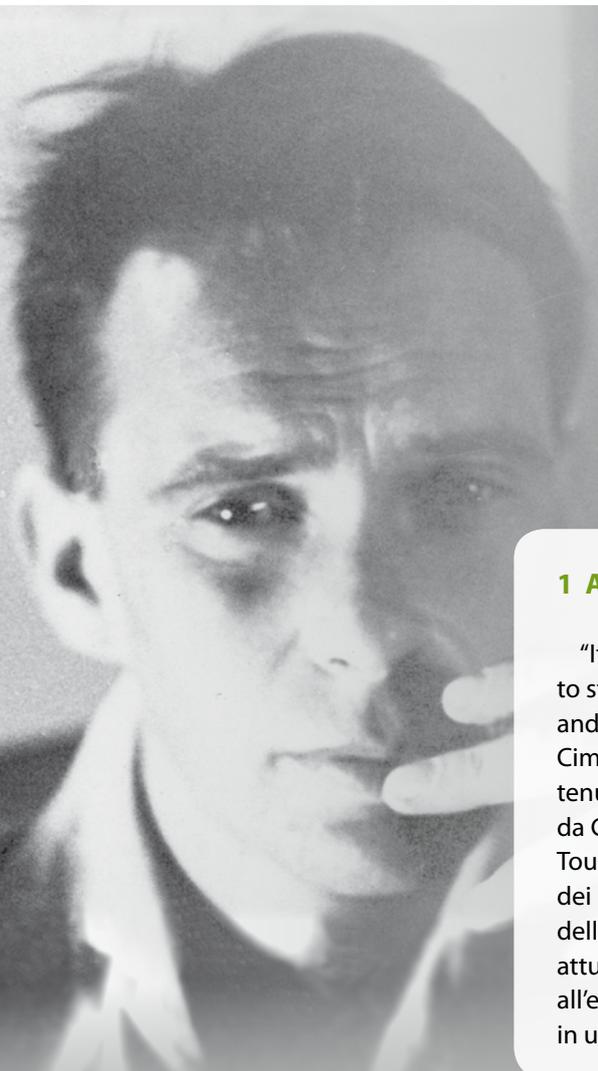
A CINQUANT'ANNI DALL'ESORDIO A FRASCATI DEL PRIMO COLLISORE
ELETTRONE-POSITRONE

ENZO IAROCCI

INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Frascati (RM), Italia

Dipartimento di Scienze di Base per l'Ingegneria, Università di Roma "La Sapienza", Roma, Italia

AdA entrò in funzione cinquant'anni fa nei Laboratori Nazionali di Frascati – oggi dell'INFN, allora del CNEN – dove Bruno Touschek aveva lanciato la sua idea appena un anno prima. Nascevano così i collisori elettrone-positrone, i quali rapidamente s'imposero nel mondo come insostituibili strumenti d'indagine dei costituenti elementari della materia.



1 AdA: l'idea e l'esperimento

"It was decided in a program meeting held in February 1960 in Frascati to study the possibility of a colliding beam experiment with electrons and positrons", così esordisce il lavoro su AdA pubblicato su Il Nuovo Cimento di dicembre di quell'anno (fig. 1) [1], riferendosi alla riunione tenuta a Frascati il pomeriggio del 17 febbraio, una della serie promossa da Giorgio Salvini sul futuro dei Laboratori, la riunione nella quale Bruno Touschek aveva lanciato l'idea che avrebbe non solo tracciato il futuro dei Laboratori di Frascati, ma anche profondamente segnato lo sviluppo della fisica delle particelle elementari, da allora fino a oggi e oltre. Per attuare l'idea, secondo Touschek c'era semplicemente da metter mano all'elettrosincrotrone, che era appena entrato in funzione, per trasformarlo in un collisore; in quella stessa riunione fu Giorgio Ghigo a suggerire di

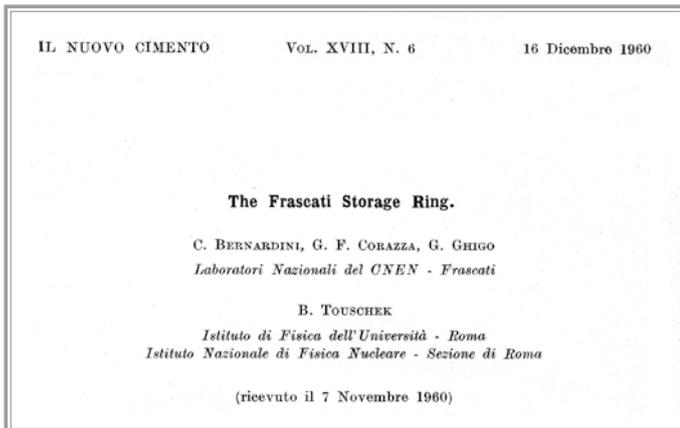


Fig. 1 Frontespizio dell'articolo sul progetto di AdA, pubblicato su *Il Nuovo Cimento* nel 1960.

puntare a costruire un piccolo prototipo, AdA appunto, attorno al quale nacque subito un gruppo che ne avviò prontamente la realizzazione riuscendo ad accumulare i primi elettroni e positroni appena un anno dopo, il 27 febbraio 1961 [2].

Poche settimane dopo la sua proposta, il 7 marzo 1960 e di nuovo a Frascati, Touschek tenne un seminario per illustrare le sue idee sulle grandi opportunità offerte dalle collisioni elettrone-positrone e la possibilità di attuarle mediante macchine costituite da un singolo anello, con pacchetti di elettroni e positroni di uguale energia circolanti in versi opposti e collidenti in tratti prestabiliti dell'orbita comune, equipaggiati con rivelatori delle particelle prodotte nelle interazioni.

Bruno Touschek, nato a Vienna nel 1921, al tempo di AdA era un brillante fisico teorico della Sezione INFN di Roma, dove si era stabilito dal 1952, occupandosi di vari aspetti di fisica delle interazioni fondamentali e di meccanica statistica, e dando un personale contributo alla crescita della scuola teorica romana [3]. Prima di approdare a Roma aveva avuto una vita piuttosto movimentata, anche dalle vicende della guerra, visitando vari centri di ricerca europei e affermandosi come promettente fisico teorico.

Qua e là, aveva anche avuto occasione di occuparsi di problemi teorici legati alle tecniche di accelerazione di particelle che negli anni Quaranta vivevano la fase giovanile dello sviluppo. Nel 1943, ad Amburgo, si era messo in contatto con Wideröe dopo aver letto la sua proposta di realizzazione del primo betatrone europeo, da 15 MeV, nella quale aveva colto delle incertezze nel trattamento relativistico della stabilità delle orbite. Fu lo spunto che lo avrebbe portato a collaborare al progetto sviluppando il formalismo hamiltoniano per studiare le orbite di macchine circolari. In seguito si occupò anche dell'iniezione di elettroni in un fascio accelerato e sviluppò la teoria del "radiation damping" per gli elettroni nel betatrone. Nel 1946, a Gottinga,

ottenne il diploma in fisica proprio con una tesi sulla teoria del betatrone.

Queste esperienze giovanili costituirono l'"imprinting" in materia di acceleratori di elettroni che meno di quindici anni dopo avrebbe dato i suoi frutti.

1.1 Questioni di priorità

AdA è un acronimo di rara eleganza, ma può prestarsi a equivoci perché richiama solo un aspetto, quello di Anello di Accumulazione, di un'idea che si caratterizza, invece, per essere la felice sintesi di più idee, delle quali in ogni caso due sono sue.

Da molti anni era chiaro che nello schema allora usuale delle collisioni tra le particelle di un fascio accelerato a una data energia e quelle di un bersaglio in quiete, la frazione di energia associata al moto del baricentro è sprecata e il peggio è che tale frazione cresce in maniera rovinosa al crescere dell'energia. Precisamente, l'energia del moto relativo, l'unica che interessa per lo studio delle interazioni tra le particelle proiettile e bersaglio, nel limite relativistico cresce solo con la radice quadrata dell'energia delle particelle dirette contro il bersaglio.

Se invece si fanno collidere fra loro due fasci di particelle di uguale massa e quantità di moto, l'energia totale coincide con quella nel centro di massa ed è tutta disponibile per le loro interazioni. In tal caso c'è, però, da affrontare un problema: mentre in un bersaglio sufficientemente spesso tutta l'energia di un fascio è assorbita e dunque in qualche modo utilizzata, se s'incrociano due fasci di particelle, essi tendono a essere reciprocamente trasparenti. La soluzione è accumularli in ambiente vuoto facendoli circolare e incrociare un gran numero di volte fino a rendere grande la probabilità d'interazione.

Gerard O'Neill nel 1956 – e poco prima D. W. Kerst, da lui citato – aveva pubblicato tale idea, delineando il progetto di una coppia di anelli per l'accumulazione di fasci di particelle con uguale energia, con un comune tratto tangenziale per le loro collisioni [4]. Nel 1959 questo lavoro si tradusse nel progetto di Princeton e Stanford di un collisore elettrone contro elettrone. Già Wideröe, in realtà, aveva concepito l'idea del vantaggio cinematico della collisione tra fasci accumulati, non citato da O'Neill, forse perché aveva curiosamente scelto la strada del brevetto, invece della pubblicazione, che fu richiesto in Germania nel 1943 e registrato solo nel 1953.

Touschek nel 1960, in un'unica mossa geniale, combinò il vantaggio cinematico della collisione tra fasci accumulati d'uguale energia, con la sua visione delle potenzialità uniche offerte dallo studio delle interazioni tra un elettrone e la sua antiparticella, e con, in sovrappiù, il vantaggio di usare un solo anello: la simmetria *CP* dell'elettrodinamica avrebbe garantito la circolazione speculare dei due fasci di carica opposta nell'orbita di equilibrio della macchina e, quindi,

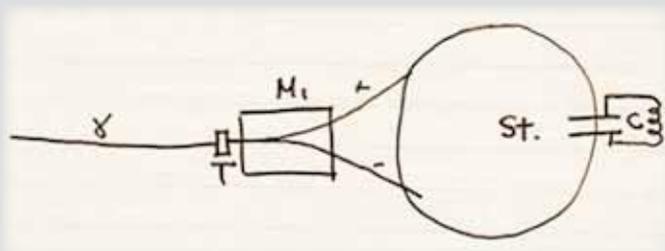


Fig. 2 L'idea di AdA, in uno schizzo di Bruno Touschek.

anche le loro collisioni (fig. 2).

Il punto cruciale sul quale Touschek poneva l'accento era che la coppia elettrone-positrone, possedendo lo stesso numero quantico di un bosone neutro, può dar luogo, attraverso il processo di annichilazione, alla formazione – nel caso più frequente e interessante – di un fotone virtuale di massa pari all'energia totale nel centro di massa. Il fotone a sua volta si può convertire in altre particelle e antiparticelle, di qualunque tipo, a patto di mantenere il numero quantico dello stato di partenza e di avere sufficiente energia a disposizione.

Nel citato progetto del 1959, i due fasci di elettroni circolanti in due anelli di accumulazione distinti e collidenti nel tratto di tangenza, possono invece solo dar luogo a stati finali con numero elettronico pari a due, e quindi comunque contenenti innanzitutto due elettroni; effettivamente il

progetto puntava a uno studio di elettrodinamica quantistica che iniziò nel 1962, dopo l'entrata in funzione di AdA.

1.2 AdA a Frascati

I fasci di AdA erano accumulati in una ciambella circolare sotto vuoto lunga quattro metri, immersa nel campo curvante di un magnete che occupava lo spazio all'interno della circonferenza (fig. 3), e dotata di una cavità d'accelerazione a radiofrequenza a 147 MHz e 10 kV, per rifornire il fascio dell'energia persa per irraggiamento e per urti sul gas residuo. L'energia massima di lavoro era di circa 200 MeV per fascio, quindi con 400 MeV disponibili nel centro di massa nella zona d'incrocio. Per produrre vite medie dei fasci circolanti di qualche ora, era chiaro che sarebbe stato necessario raggiungere un vuoto di almeno 10^{-9} Torr, un valore che allora si situava ben oltre la tecnologia corrente, al punto che non fosse nemmeno ovvio come misurarlo. Fu un'impresa di Gianfranco Corazza riuscire a raggiungere in pochi mesi l'obiettivo e a superarlo largamente in seguito, fino a toccare i 10^{-11} Torr.

Il sistema d'iniezione dei fasci nell'anello, forse più che ogni altro particolare, rivela il gusto per l'idea semplice ed elegante che caratterizzava le scelte del gruppo di AdA. In pratica il sistema si riduceva a un sottile bersaglio di tantalio, posto dentro l'anello appena fuori dall'orbita [2]. Contro tale bersaglio, in due fasi successive, era indirizzato un fascio di gamma, per convertirli in coppie elettrone-positrone,

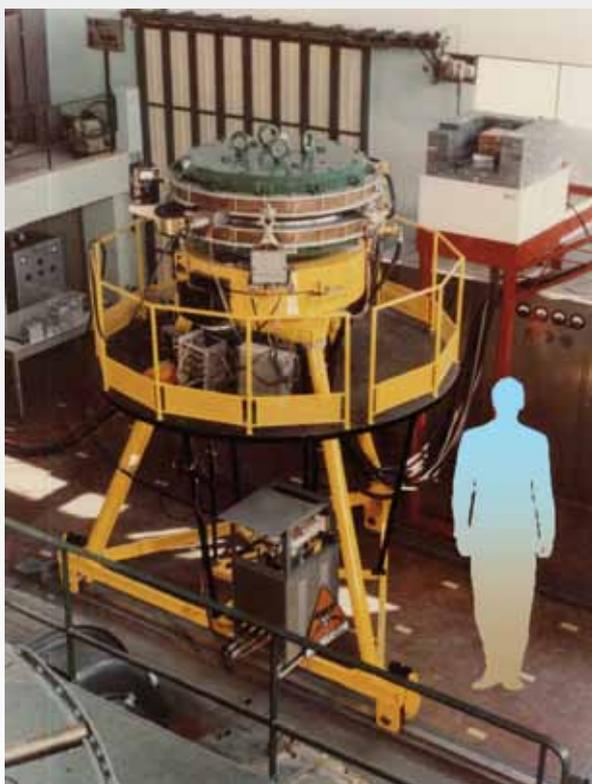


Fig. 3 AdA sul suo sostegno mobile.



Fig. 4 Disegno di Bruno Touschek.

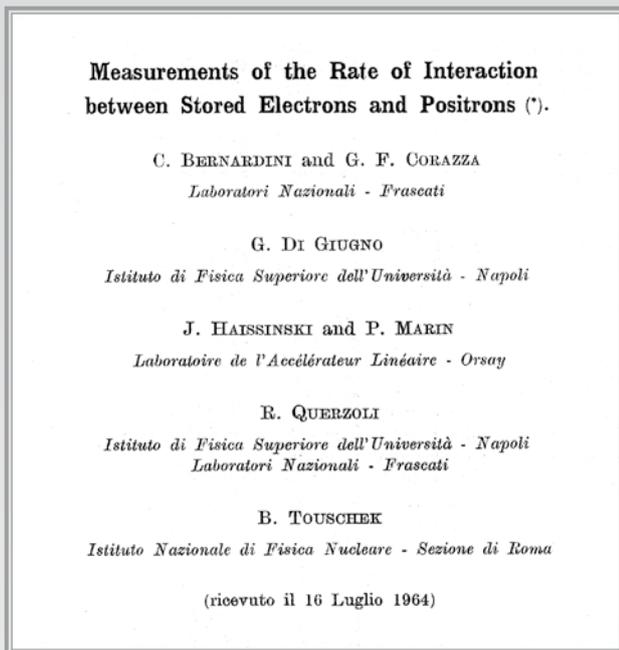


Fig. 5 Frontespizio dell'articolo pubblicato su Il Nuovo Cimento nel 1964, che dimostrò il corretto funzionamento di AdA come collisore elettrone-positrone.

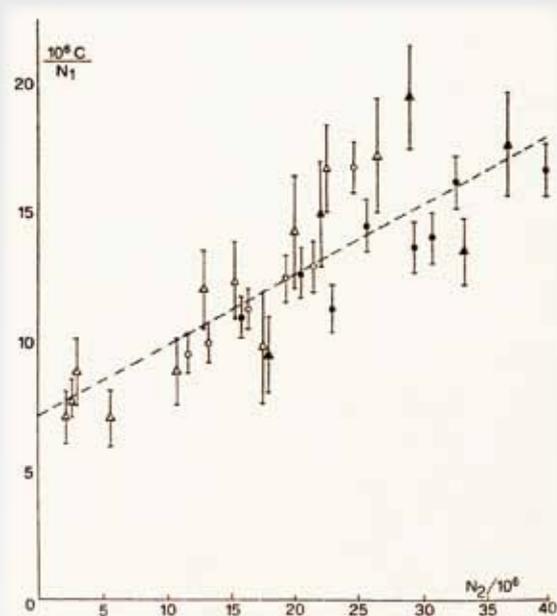


Fig. 6 Il corretto funzionamento di AdA come collisore elettrone-positrone fu dimostrato tramite l'osservazione della reazione $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma$, rivelandone il gamma sulla linea d'incidenza di un fascio [6]. Fotoni in avanti erano però anche prodotti dalle interazioni del fascio con il gas residuo nella ciambella. Fu possibile liberarsi di tale fondo in base alla seguente osservazione: la frequenza di gamma prodotti sul gas era proporzionale al numero di particelle N_1 del fascio che puntava verso il rivelatore, mentre la frequenza di quelli prodotti nell'interazione tra i due fasci era proporzionale al prodotto N_1N_2 , dove N_2 era il numero di particelle del fascio diretto in verso opposto. Il risultato di una numerosa serie di misure fu riassunto nel grafico qui riprodotto (disegno originale di Touschek), riportando i conteggi del rivelatore divisi per N_1 , in funzione di N_2 . I dati si disposero effettivamente su una retta, secondo le attese.

sfruttando lo stesso campo della macchina per la cattura in orbita. Erano accumulati prima i positroni, per poi passare agli elettroni, tramite una traslazione pari a un diametro dell'anello e una rotazione di mezzo giro attorno al suo asse, che riportava il bersaglio in posizione e al tempo stesso permetteva di catturare il secondo fascio nella stessa orbita, ma con il verso di circolazione opposto a quello del primo. In realtà nella fase iniziale di sperimentazione erano state provate procedure un po' diverse, una delle quali per esempio prevedeva una rotazione attorno a un asse orizzontale, con un dispositivo battezzato "il girarrosto". Per capire cosa succedesse durante la movimentata operazione, qualunque essa fosse, era necessario fare uso più di una volta della regola della mano destra, iniziando dalla direzione del campo magnetico, fatto che evidentemente ispirò quella "magnetic discussion" che è il più famoso disegno di Touschek (fig. 4).

A Frascati fu dimostrata la praticabilità dell'idea di accumulazione ottenendo entro il 1961 una vita media di cinque ore con un vuoto di 4×10^{-9} Torr [5]. In seguito, migliorando quest'ultimo, furono superate le quaranta ore di vita media. Tuttavia l'efficienza del metodo d'iniezione basata sul fascio gamma del sincrotrone, che limitava la frequenza di cattura a circa una particella al secondo, si rivelò comunque inadeguata per ottenere un'intensità dei fasci sufficiente per l'osservazione di prodotti di collisione tra elettroni e positroni. Con AdA si cominciò così a fare i conti col parametro che subito dopo l'energia caratterizza un collisore, vale a dire la sua luminosità, definita come la frequenza di una data reazione per unità di sezione d'urto.

1.3 AdA a Orsay

La difficoltà fu rapidamente superata tramite un accordo con i colleghi del Laboratoire de l'Accélérateur Lineaire di Orsay che furono ben lieti di collaborare all'impresa, ospitando AdA e mettendo a disposizione il loro acceleratore lineare di elettroni, mediante il quale fu prodotto un fascio gamma d'intensità tale da migliorare drasticamente l'efficienza d'iniezione delle particelle nell'anello. Fu in tal modo possibile iniettare oltre 4000 particelle al secondo e accumulare 10^7 particelle per fascio, raggiungendo una luminosità di $10^{25}/(\text{cm}^2\text{s})$. Questa, pur non permettendo di osservare reazioni particolarmente interessanti, come per esempio l'annichilazione della coppia e^+e^- in una coppia di mesoni $\pi^+\pi^-$, oppure di leptoni $\mu^+\mu^-$, si rivelò in ogni modo sufficiente a raggiungere l'obiettivo primario, che era la dimostrazione del principio del collisore (fig. 5) [6].

Mediante un telescopio di scintillatori seguiti da un contatore Cherenkov di vetro al piombo, sviluppato da Giuseppe Di Giugno, Pierre Marin e Ruggero Querzoli, era possibile rivelare i gamma prodotti nella collisione tra i fasci. L'ideale sarebbe stato rivelare la coppia di gamma della reazione $e^+e^- \rightarrow e^+e^- \gamma\gamma$, mediante una coppia di rivelatori

disposti simmetricamente sulla linea di collisione. Anche per questa reazione la luminosità era però insufficiente. Il gruppo puntò allora alla rivelazione, sulla linea di un fascio, del singolo gamma della reazione $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$. Questa era molto più difficile da identificare, perché singoli gamma in avanti erano anche prodotti nell'interazione delle particelle del fascio con il gas residuo nella ciambella. Fu possibile liberarsi del loro disturbo in base alla seguente osservazione: la frequenza dei gamma prodotti sul gas era proporzionale al numero di particelle N_1 del fascio che puntava verso il rivelatore, mentre la frequenza di quelli prodotti nell'interazione tra i due fasci era proporzionale al prodotto N_1N_2 , dove N_2 era il numero di particelle del fascio diretto in verso opposto.

Dopo una numerosa serie di misure, con uno o due fasci accumulati, riportando su un grafico i conteggi del rivelatore divisi per N_1 , in funzione di N_2 , risultò che i dati mostravano la corretta dipendenza da N_2 , disponendosi su una retta, la cui pendenza era una misura della frequenza di conteggio della reazione cercata (fig. 6). Inoltre, questa era in accordo con quella calcolata in base alla sezione d'urto del processo, integrata sul rivelatore, e alla luminosità di $10^{25}/(\text{cm}^2\text{s})$.

Fu così raggiunto l'obiettivo di dimostrare che il collisore funzionava correttamente, con gli elettroni e positroni che circolavano su una stessa orbita in un singolo anello, e che quindi anche la fiducia nella simmetria CP era stata ben riposta. Lo studio di AdA a Orsay trovò nella tesi di dottorato di Jacques Haissinsky l'occasione di una completa e accurata documentazione.

2 Cinquant'anni di fisica delle collisioni elettrone-positrone

2.1 I collisori e^+e^- conquistano la scena

Nel corso dello stesso anno 1960, quando l'idea di AdA era stata da poco lanciata e la sua costruzione appena avviata, già iniziò lo studio della sua versione in grande, Adone, sotto la guida di Fernando Amman, con l'obiettivo di un'energia massima di 3 GeV nel centro di massa. Alla fine dello stesso anno Touschek pubblicò una sua nota sulla fisica alla portata di Adone e contribuì poi alla stesura della proposta. Nella fase di realizzazione del progetto si occupò della stabilità dei fasci e, guardando agli esperimenti, affrontò il tema dell'irraggiamento di fotoni all'atto delle collisioni e^+e^- , per tenerne conto nelle misure di sezione d'urto in funzione dell'energia dei fasci. Un'analisi sistematica dei possibili esperimenti, che sarà poi definita "la Bibbia" dai futuri fisici sperimentali di Adone, fu pubblicata nel 1961 da Nicola Cabibbo – che si era laureato proprio con Touschek – e Raoul Gatto [7]. A Frascati, la fiducia nell'idea di AdA era evidentemente stata subito grande. Ma dopo il successo del

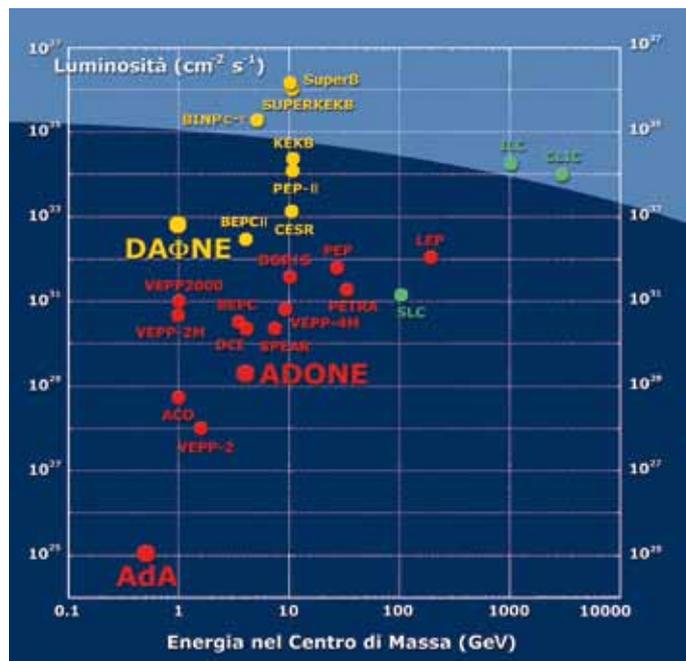


Fig. 7 AdA diede il via alla realizzazione nel mondo degli anelli di collisione elettrone-positrone, i quali nel giro di pochi anni, con una serie di successi spettacolari, conquistarono un ruolo di primo piano sulla scena degli esperimenti di fisica delle particelle. Nel giro di circa venti anni, dall'energia di pochi GeV di Adone si raggiunsero i 200 GeV del Large Electron Positron collider del CERN di Ginevra (in rosso). Negli anni Novanta si aprì una nuova direzione di sviluppo, verso le alte luminosità (in giallo), con macchine come DaΦne, la ϕ -Factory di Frascati. I 200 GeV del LEP sono il limite che l'irraggiamento in pratica impone all'energia degli anelli di collisione e^+e^- : le energie più elevate sono però accessibili ai collisori e^+e^- lineari (in verde).

test comunque l'interesse dilagò, a cominciare da Orsay, dove nel 1964 fu decisa la realizzazione dell'Anneau de Collisions d'Orsay e poco dopo fu la volta di Novosibirsk di convertirsi all'idea, mettendo da parte le collisioni di fasci tangenziali di elettroni sulle quali si era imbarcato qualche tempo prima il laboratorio, mentre a Boston fu decisa la conversione in collisore e^+e^- del Cambridge Electron Synchrotron.

Questo fu l'inizio della realizzazione nel mondo di una serie d'anelli di collisione elettrone-positrone (fig. 7), i quali nel giro di pochi anni con una serie di successi spettacolari conquistarono un ruolo di primo piano sulla scena degli esperimenti di fisica delle particelle che non hanno mai perduto. Furono realizzate macchine, spesso in aperta competizione fra loro, in una progressione d'energie crescenti, per estendere sempre più la portata in termini di massa di nuove particelle create nell'annichilazione e^+e^- . L'aumento di energia è inevitabilmente accompagnato da quello delle dimensioni degli anelli, per contenere a livelli tollerabili le perdite d'energia dei fasci per irraggiamento da accelerazione curvante nei magneti. Questa successione di macchine inizia dai pochi gigaelectronvolt di Adone, ha



Disegno di Bruno Touschek.

i momenti di massimo interesse ai collisori di Stanford e Amburgo, fino a raggiungere la frontiera dei 200 GeV al LEP (Large Electron Positron collider) del CERN di Ginevra.

Attraverso l'osservazione di una produzione sorprendentemente abbondante di eventi a molte particelle adroniche, Adone scoprì i primi segni della forza di colore, vale a dire di quella che poi sarà riconosciuta come la forza di legame dei quark, i costituenti della materia adronica. Un panorama di eccezionali scoperte si dischiuse del tutto inaspettatamente nel 1974 a energie appena sopra il massimo di 3,0 GeV di Adone, a cominciare dalla strettissima risonanza J/ψ a 3,1 GeV, che fu comunque subito confermata e poi studiata anche a Frascati, forzando i parametri di funzionamento della macchina. Fu così scoperto il quark c – che si aggiungeva a quelli già noti u , d ed s – che assieme al corrispondente antiquark costituiva la J/ψ e gli altri stati analoghi; poi fu la volta del gluone, il quanto della forza di colore scambiata tra i quark, e del leptone τ – vale a dire l'“heavy lepton” già cercato ad Adone da Antonino Zichichi. Una serie di scoperte che immediatamente cancellarono ogni residuo dubbio sulla reale esistenza di quark e gluoni, e che contribuirono alla completa definizione del Modello Standard, il quale trovò poi la definitiva conferma nella accurata verifica al LEP. Questo collisore a singolo anello di 27 km di lunghezza rappresenta la versione di AdA più grande realizzata.

2.2 Le fabbriche di quark

Negli anni Novanta si aprì una nuova direzione di sviluppo, verso le alte luminosità, con macchine specializzate per

lavorare a particolari energie, adatte, nel caso più frequente, alla produzione abbondante di mesoni aventi un particolare quark tra i costituenti e quindi per studiare fenomeni rari. La B-Factory americana e quella giapponese hanno per esempio scoperto e studiato la violazione della simmetria CP – già nota per i mesoni K neutri contenenti il quark s – per gli analoghi mesoni B contenenti il quark b .

Lo sviluppo verso le energie più elevate, comportando fatalmente la crescita delle dimensioni dell'infrastruttura e quindi del laboratorio, aveva messo fuori gioco Frascati. La nuova frontiera della luminosità offrì un'opportunità che l'INFN non si lasciò sfuggire. Così a Frascati negli anni '90 nacque Daφne, una ϕ -Factory, un collisore elettrone-positrone ottimizzato per operare all'energia di produzione, appena sopra il GeV, del mesone ϕ , che è uno stato quark-antiquark di tipo s . Un'energia quindi intermedia tra quelle di AdA e Adone e dunque a misura del laboratorio esistente, dove infatti trovò posto nell'edificio che aveva ospitato Adone.

La macchina, come già avvenuto in altri progetti, impiega due anelli distinti, dato l'elevato numero di pacchetti di particelle circolanti: 120, uniformemente distribuiti sui 100 metri di lunghezza di ciascun anello. In effetti, se l'alta energia porta con sé le grandi dimensioni, l'alta luminosità comporta una crescente complessità, cosa resa per esempio evidente dal fatto che, mentre l'anello di Adone è chiaramente visibile in una foto dall'alto, il doppio anello di Daφne non lo è per niente, nascosto alla vista dalle numerose apparecchiature di supporto (fig. 8).

L'abbondante produzione di mesoni K , risultante dai decadimenti della ϕ , ha reso possibile lo studio di atomi kaonici, di ipernuclei e di decadimenti rari dei K , rispettivamente con gli esperimenti Dear, Finuda e Kloe. In particolare, quest'ultimo ha eseguito una misura accurata dell'angolo di Cabibbo, che è equivalsa alla determinazione del termine V_{us} della matrice CKM con una precisione dell'ordine dell'uno per mille. Tale misura ha portato a verificare l'unitarietà della matrice – che vuol dire la verifica di un aspetto del Modello Standard – riguardo alla sua prima riga, migliorando in maniera decisiva il precedente risultato che deviava dall'unità per oltre tre deviazioni standard. Tale verifica è quella più accurata tra quelle sinora complessivamente condotte sull'unitarietà della matrice CKM.

2.3 I collisori adronici

La diffusione dei collisori elettrone-positrone è stata accompagnata da quella dei collisori adronici, innanzitutto da quelli protone-protone i quali, con caratteristiche complementari, si sono trovati con alterne vicende a competere con i primi.

Al CERN e al Fermilab sono anche stati realizzati anelli di collisione tra protoni e antiprotoni. Questi sono particelle composite, così che nelle collisioni sono i quark o gli

antiquark costituenti che entrano indipendentemente in azione, assieme ai gluoni che li legano e assieme anche a coppie quark-antiquark di ogni tipo che si materializzano dal vuoto, tanto più facilmente quanto più è elevata l'energia localmente disponibile nell'urto. In pratica, alle energie elevate correnti, la differenza tra le collisioni di protoni contro protoni oppure antiprotoni, è piccola.

La scelta del collisore protone-antiprotone nei due casi menzionati fu motivata, in effetti, dalla enorme semplificazione e riduzione del costo che derivò dall'impiego – come AdA – di un solo anello, specialmente nel caso in cui quello già esisteva. Naturalmente tale scelta richiese la realizzazione, non facile, di un'adeguata sorgente di antiprotoni. Nel caso del CERN fu impiegato il Super-ProtoSincrotrone per trasformarlo temporaneamente in un collisore protone-antiprotone.

Gli eventi interessanti dei collisori a protoni sono quelli in cui collidono duramente due costituenti puntiformi, per esempio una coppia quark-antiquark, mentre gli altri costituenti partecipano all'interazione accompagnando il processo principale con la produzione di particelle mediamente poco energetiche ma numerosissime, che in pratica complicano sia la registrazione che l'analisi degli eventi.

Nei collisori adronici solo una frazione dell'energia è perciò utilizzata per i processi interessanti, che è pressappoco pari a un decimo, o poco più, dell'energia totale della coppia di protoni collidenti. D'altra parte, questa limitazione e il disturbo delle particelle d'accompagnamento, non tolgono ai collisori adronici il primato nell'esplorazione alla frontiera dell'energia, perché comunque essi sono il sistema complessivamente più semplice ed economico per una data portata di produzione di nuove particelle, a causa dell'irraggiamento molto ridotto dei protoni, perché sono molto più pesanti degli elettroni.

A LHC (Large Hadron Collider) del CERN collidono tra loro protoni oppure nuclei di piombo, nel primo caso con energia nel centro di massa di 14 TeV che è quasi cento volte quella di LEP. LHC occupa oggi la posizione d'avanguardia per nuove scoperte, che certamente manterrà per un paio di decenni almeno.

2.4 La nuova frontiera dei collisori particella-antiparticella

Si ritiene diffusamente che le scoperte attese a LHC, debbano a un certo punto essere oggetto degli studi di precisione che solo le collisioni elettrone-positrone – cioè collisioni tra particella e antiparticella puntiformi – permettono di eseguire. Bisogna però rinunciare alla versione ad anello d'accumulazione: il LEP, infatti, non solo rappresenta la più grande versione di AdA realizzata, ma certamente è anche l'ultima sul fronte delle energie elevate, costituendo il



Fig. 8 In alto, Adone nella sua sala, che successivamente ha ospitato la ϕ -Factory DaΦne, in basso.

limite pratico di tollerabilità delle perdite d'irraggiamento.

Anticipando i tempi, già negli anni Novanta entrò in funzione lo SLAC Linear Collider, basato sul locale acceleratore lineare di elettroni, producendo collisioni tra fasci polarizzati elettrone-positrone all'energia totale di 100 GeV, in diretta competizione con il LEP. In un collisore lineare, treni di pacchetti di elettroni e positroni sono accelerati in due rispettivi lunghi tubi a vuoto rettilinei, sotto l'azione dei campi elettrici di cavità oscillanti in fase con i pacchetti in volo, e sono infine portati a collidere, un'unica volta, a fine corsa.

Il progetto che punta oggi allo studio di precisione dei nuovi fenomeni che ci si aspetta siano scoperti a LHC è l'ILC (International Linear Collider), con un'energia massima prevista tra 500 GeV e 1 TeV nel centro di massa. Il progetto ILC è nato molti anni fa e, in attesa di LHC, ha perfezionato una tecnologia a cavità superconduttive ad alto campo, oltre 30 MV/m, che comunque richiederebbe lunghezze complessive della macchina dell'ordine di decine di chilometri. Nel frattempo potrebbe diventare competitivo

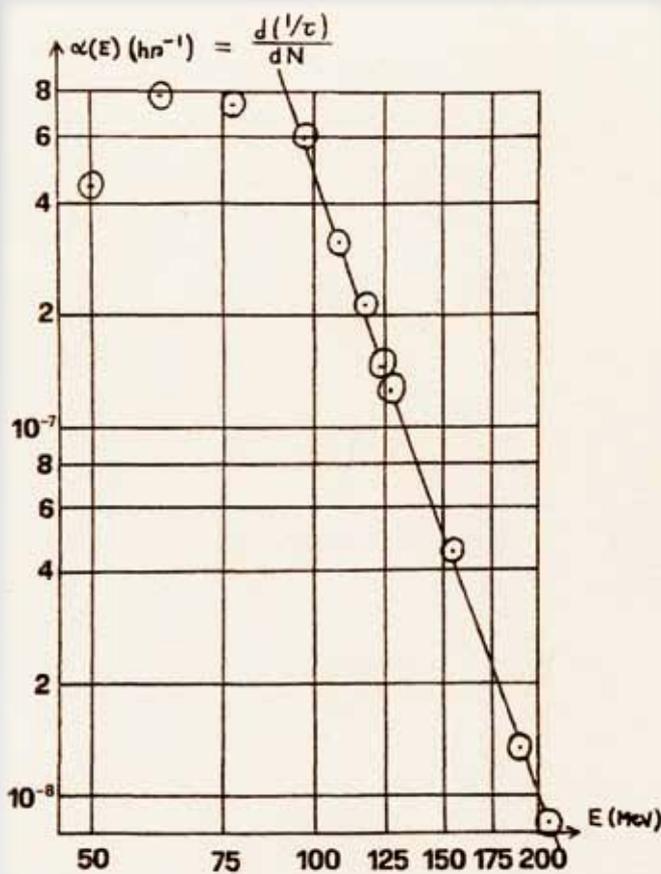


Fig. 9 Con AdA a Orsay fu scoperto ciò che è oggi noto come "effetto Touschek", vale a dire la perdita di particelle da un pacchetto circolante a causa delle collisioni tra particelle del pacchetto stesso [8]. La vita media τ di un fascio accumulato mostrò di dipendere dal numero di particelle N e dalla loro energia E , secondo l'espressione $1/\tau = \alpha(E) N + 1/\tau_0$, con τ_0 pari a oltre 40 ore. La dipendenza dall'energia era molto pronunciata ma, fortunatamente, nel verso giusto: indicava, infatti, che l'effetto avrebbe avuto meno peso alle energie più elevate dei successori di AdA, come mostra il grafico di $\alpha(E)$ qui riportato (disegno originale di Touschek).

il Compact Linear Collider del CERN che, pur essendo più indietro in termini di fattibilità, promette energie più elevate.

Seppure di là dall'attuale orizzonte, c'è anche da menzionare la possibilità del collisore muone-antimuone, che è esattamente equivalente alla versione elettrone-positrone, e dunque in linea con la visione di Touschek, perché il muone è un leptone come l'elettrone, salvo essere circa 200 volte più pesante, cosicché le perdite d'energia per irraggiamento sarebbero drasticamente ridotte, essendo inversamente proporzionali alla quarta potenza della massa. Magnetici curvanti ad alto campo potrebbero perciò essere impiegati per realizzare energie molto elevate con anelli relativamente compatti. La principale difficoltà risiede nel fatto che un muone decade in elettrone e neutrini con una vita media a riposo di 2,2 μ s.

3 Fisica dei collisori e^+e^-

3.1 Un effetto imprevisto

Lo sviluppo della fisica dei collisori spesso ha preso spunto dalla scoperta di effetti imprevisti, perlopiù sgraditi, oppure è stata orientata da nuove idee stimolate da traguardi sempre più avanzati. L'obiettivo di energia di un collisore può essere molto impegnativo da raggiungere ma è difficile che nasconda sorprese, perché è il risultato della somma delle azioni di magneti curvanti e cavità acceleranti; l'alta luminosità invece richiede l'accumulazione di fasci intensi, da strizzare intensamente quando sono portati a collidere, cosa che tende a favorire dinamiche non lineari ed effetti collettivi indesiderati, spesso difficili da prevedere e da controllare.

La storia delle cattive sorprese cominciò proprio con AdA, nel 1963, mentre era in funzione a Orsay. La vita media τ di un fascio accumulato mostrò di dipendere dal numero di particelle N e dalla loro energia E , secondo la seguente espressione [8]:

$$1/\tau = \alpha(E) N + 1/\tau_0,$$

dove la costante τ_0 era pari alla vita media di oltre 40 ore, misurata alle basse intensità. La dipendenza dall'energia era molto pronunciata ma, fortunatamente, indicava che l'effetto avrebbe avuto meno peso alle energie più elevate dei successori di AdA (fig. 9).

L'imprevisto si era manifestato una notte di marzo nel 1963 [2] quando, iniettando in una data condizione, il numero di particelle accumulate mostrò a un certo punto di saturare. Fu lo stesso Touschek a spiegare e a calcolare approssimativamente – quella notte, facendo una puntata al "Café de la Gare" di Orsay – ciò che è oggi noto come "effetto Touschek", vale a dire la perdita di particelle da un pacchetto circolante a causa delle collisioni tra particelle del pacchetto

stesso. Fu Carlo Bernardini a eseguire un calcolo completo il giorno successivo e a escogitare il modo di mitigare l'effetto in AdA, tramite l'introduzione di un quadrupolo, allo scopo di ridurre la densità delle particelle nei pacchetti, fuori dalla zona d'interazione.

Di fatto, lo studio di questo effetto permise di comprendere più a fondo il funzionamento della macchina e di valutarne con buona precisione la luminosità, e fu pertanto essenziale per dimostrare, attraverso la misura della reazione $e^+e^- \rightarrow e^+e^-\gamma$, che le collisioni fascio-fascio avvenivano come previsto.

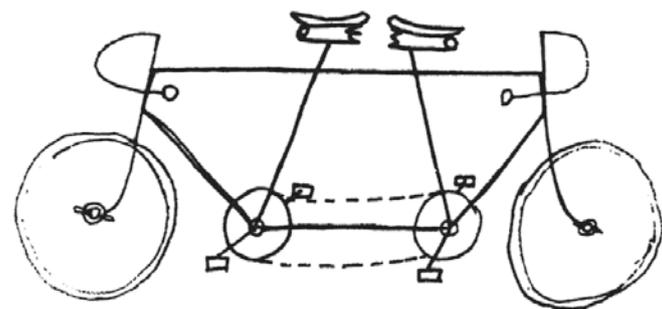
Questo fu il primo tra gli innumerevoli effetti che oggi vanno tenuti in considerazione nella progettazione di un nuovo collisore.

3.2 Cattivi effetti e buone idee

Ad Adone toccò di scoprire l'effetto testa-coda, vale a dire le instabilità generate anche a correnti non molto elevate, dal cromatismo dei quadrupoli, fatto che in seguito promosse, per correggere l'effetto, l'uso sistematico di sestupoli nella progettazione dei collisori.

Al laboratorio di Orsay andò sfortunatamente molto peggio con il collisore DCI, che puntava su un'idea indubbiamente elegante per ridurre le interazioni tra i fasci e guadagnare in tal modo luminosità elevate: due anelli, ciascuno un collisore e^+e^- , con un tratto comune, dove sovrapporre le rispettive collisioni a parti invertite, vale a dire elettrone-positrone su positrone-elettrone, in modo da neutralizzare le distribuzioni di carica. Fu un insuccesso che costrinse a ripiegare sul normale regime di operazione e le usuali luminosità; però, a detta degli esperti, oggi l'idea funzionerebbe, come a dire che era effettivamente buona.

Nel caso del collisore Doris a DESY, la prima macchina ad affrontare la complicazione del doppio anello per meglio gestire fasci molto intensi, fu naturale adottare l'incrocio dei fasci ad angolo invece che frontale, ma si scoprì che, in tal caso, insorgevano limitazioni, proprio alle alte intensità.



Disegno di Bruno Touschek.

PROBARE ET REPROBARE !

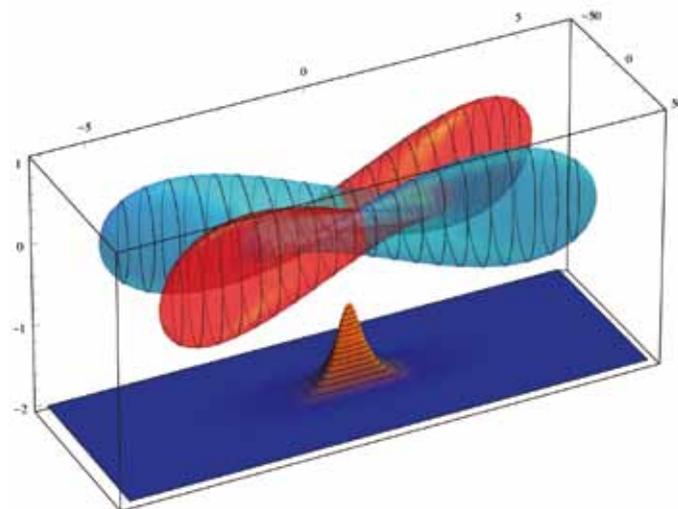


Fig. 10 In un collisore, in corrispondenza del punto d'incrocio, ciascun pacchetto è strizzato e assume la forma di una clessidra: l'alta luminosità risulta dal far collidere i due fasci nel punto di minimo delle due clessidre, in corrispondenza della loro vita. Se si esagera, nascono effetti fascio-fascio distruttivi. L'idea del Crab-Waist, che si attua con una coppia di sestupoli magnetici, è quella di ruotare la linea di vita della clessidra, così che all'incrocio ciascun pacchetto viaggia con la vita storta, fino al punto di essere allineata con la traiettoria dell'altro (sopra). In tal modo si genera una sovrapposizione più simmetrica e regolare dei due pacchetti (sotto) che riduce drasticamente gli effetti distruttivi della collisione dei due fasci [9]. (Cortesia di Eugenio Paoloni.)

D'altra parte, puntando a massimizzare il numero di pacchetti in un doppio anello, un angolo d'incrocio è quantomeno desiderabile. Così nacque l'idea del "Crab-Crossing". In questo caso si ricorre a una cavità risonante con un campo elettrico trasversale che ruota i pacchetti, facendoli procedere di traverso, come i granchi, lungo traiettorie incrociate, in modo da produrre collisioni frontali dei pacchetti stessi. L'idea, di per sé elegante, ha avuto un successo solo limitato perché di complicata attuazione.

Insistendo sullo stesso tema, che è evidentemente cruciale, Pantaleo Raimondi a Frascati ha recentemente inventato il "Crab-Waist" [9]. I pacchetti di particelle di un collisore hanno una forma alquanto complicata, stabilita dall'ottica magnetica della macchina. In corrispondenza del punto d'incrocio, ciascun pacchetto è strizzato e assume la forma di una clessidra: l'alta luminosità risulta dal far collidere i due fasci nel punto di minimo delle due clessidre, cioè in corrispondenza della loro vita - waist. Se si esagera, nascono effetti fascio-fascio distruttivi. L'idea del Crab-Waist, che si attua molto semplicemente con una coppia di sestupoli magnetici, è quella di ruotare la linea di vita della clessidra, così che all'incrocio ciascun pacchetto viaggia con la vita storta, fino al punto di essere allineata con la traiettoria dell'altro (fig. 10). In tal modo si genera una sovrapposizione

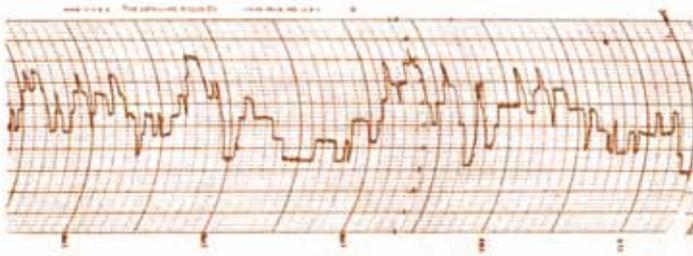


Fig. 11 Registrazione su carta della corrente di un fotomoltiplicatore posto a rivelare la luce irraggiata dai fasci di elettroni di AdA. Con pochi elettroni circolanti ed elevato guadagno del fototubo, gli evidenti salti da un livello di corrente a un altro segnalavano l'ingresso o la perdita di singole particelle accumulate, offrendo un semplice metodo di calibrazione. Poi, agendo sulla tensione di alimentazione del fototubo se ne poteva ridurre di fattori noti il guadagno e a quel punto dalla misura della corrente si ricavava il numero di elettroni del fascio circolante. Analogamente, con un altro fototubo si misurava il numero di positroni [6].

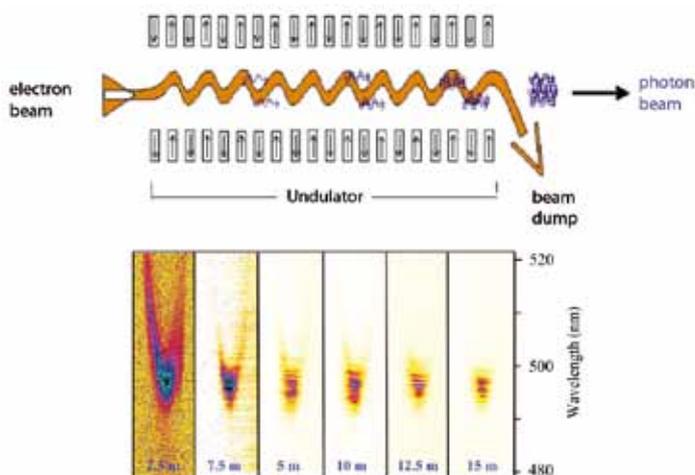


Fig. 12 Quando un pacchetto di elettroni molto denso è lanciato in un magnete ondulatorio contenente un grandissimo numero di poli alternati, il pacchetto di fotoni irraggiato che accompagna lo stesso pacchetto di elettroni, porta progressivamente a suddividere finemente quest'ultimo in micropacchetti che, in opportune condizioni, sono automaticamente in fase con il pacchetto di luce: il tutto si sviluppa al punto di innescare un processo spontaneo di autoamplificazione fino a saturazione (in alto). Tutto ciò avviene senza l'impiego di una cavità a specchi com'è previsto in un classico laser a elettroni liberi e, dunque, senza le limitazioni alle piccole lunghezze d'onda che proprio l'uso degli specchi introduce. Questa è l'idea del laser a elettroni liberi del tipo a emissione spontanea autoamplificata [10] che è impiegata nel progetto SparC, cui si riferisce la figura in basso. Questa mostra lo spettro della radiazione luminosa emessa al crescere del numero di moduli del magnete ondulatorio attraversati dal fascio: 6 moduli da 77 periodi, per un totale di 462 periodi su una lunghezza di circa 13 m. La radiazione aumenta esponenzialmente di intensità mentre diminuisce la sua larghezza di banda, in questo caso attorno ai 500 nm (luce verde) [11]; in seguito, mediante l'uso combinato di tecniche di seeding e di generazione d'armoniche, è stata prodotta radiazione a 41 nm. (Cortesia della Collaborazione SparC.)

più simmetrica e regolare dei due pacchetti che riduce drasticamente gli effetti distruttivi della collisione dei due fasci (Crab-Waist, la vita del granchio, per dire la vita storta: una metafora che allo stesso tempo è un gioco di parole, perché il granchio la vita non ce l'ha).

Il metodo è stato messo alla prova dei fatti con pieno successo su Daφne, dove sono stati raggiunti livelli di luminosità da tre a quattro volte più elevati di quelli ottenuti in precedenza, aprendo in tal modo la prospettiva di un avanzamento generalizzato delle luminosità. Questo risultato ha avuto, infatti, una vasta eco internazionale e il metodo è oggi considerato una possibilità in numerosi futuri progetti di collisore a doppio anello, di qualunque tipo, a cominciare da quelli di SuperB-Factory. Innanzitutto quello italiano, ovviamente, che si è sviluppato proprio basandosi su esso. Il riconoscimento più indicativo della bontà dell'idea viene dal Laboratorio KEK di Tsukuba in Giappone, che ha deciso, dopo aver puntato sul Crab-Crossing, di adottare il Crab-Waist nella SuperB-Factory ora in costruzione in quel laboratorio.

Nel frattempo, l'aumento di luminosità ottenuto a Daφne ha aperto la strada per una nuova campagna di misure a tutti i suoi esperimenti.

4 Tecnologia dei collisori e sorgenti di luce

4.1 La luce di AdA

L'osservazione della luce emessa dai fasci accumulati fu uno strumento essenziale per il controllo – a volte semplicemente visivo – del funzionamento di AdA. La foto in fig. 11 mostra la registrazione su rullo di carta dell'andamento temporale della corrente di un fotomoltiplicatore posto a guardare la luce emessa dagli elettroni circolanti, attraverso una finestra della ciambella. Con pochi elettroni circolanti e elevato guadagno del fototubo, gli evidenti salti da un livello di corrente a un altro segnalavano l'ingresso o la perdita di singole particelle accumulate, offrendo un semplice metodo di calibrazione. Poi, agendo sulla tensione di alimentazione del fototubo se ne poteva ridurre di fattori noti il guadagno e a quel punto dalla misura della corrente si ricavava il numero di elettroni del fascio circolante. Analogamente con un altro fototubo si misurava il numero di positroni [6].

Mediante fotografie era anche possibile controllare la forma del fascio. Un aspetto sorprendente e allo stesso tempo divertente, era che si potessero vedere a occhio nudo i fotoni di un singolo elettrone circolante nell'anello (c'è da considerare che il periodo di rivoluzione degli elettroni era pari a circa 14 ns).

Tali misure avevano allora un interesse puramente diagnostico, ma proprio in quegli anni fu avviato nel mondo l'impiego della radiazione di sincrotrone quale nuovo potente strumento d'indagine della materia.

4.2 Vecchi anelli e nuove sorgenti

Naturalmente l'anello d'accumulazione si rivelò il dispositivo ideale per produrre luce, ma va detto che un tale anello nella fase d'accelerazione, normalmente presente, è un sincrotrone, per cui la scelta del nome è del tutto convenzionale e, quando si tratta di radiazione di sincrotrone, è naturale si parli semplicemente di sincrotrone.

Molte sorgenti di luce furono realizzate e continuano a esserlo, utilizzando anelli che hanno esaurito la fase d'attività di fisica delle particelle. Il primo anello nato come sorgente di luce fu lo Storage Ring Synchrotron di Brookhaven che iniziò l'attività nel 1968.

In Italia i primi esperimenti furono condotti nel 1966 al sincrotrone di Frascati. Negli anni settanta a Adone, una volta diminuita la fase intensa di sperimentazione di fisica e^+e^- , nacque il Programma per l'Utilizzazione della Luce di Sincrotrone, in collaborazione col CNR, basato su quattro linee di luce, due delle quali a raggi X. Negli anni successivi il programma si arricchì, in particolare con la realizzazione nel 1977 del primo magnete "wiggler" europeo, che diede origine al programma di ricerche del Progetto Wiggler Adone, dotato di tre linee di radiazione X. Anche DaΦne è stata equipaggiata con linee di luce, che operano in parallelo ai programmi di fisica delle collisioni e^+e^- .

Il primo anello italiano costruito per produrre luce è ELETTRA, il sincrotrone di Trieste, attivo da quasi venti anni.

Infine, riguardo ai fasci di elettroni e a quelli di fotoni su Adone, c'è da ricordare che il progetto LADON stabilì un nuovo metodo di produzione di fotoni energetici, monocromatici e polarizzati, per esperimenti di fisica del nucleo. Indirizzando un fascio di luce laser contro quello di elettroni si otteneva, per diffusione Compton all'indietro, un fascio di gamma polarizzati di circa 100 MeV, di buona risoluzione energetica. La rivelazione dell'elettrone diffuso permetteva di marcare il singolo fotone.

4.3 Nuovi collisori e sorgenti ultrabrillanti

In tempi più recenti, lo sviluppo dei collisori elettrone-positrone del tipo lineare ha contribuito in maniera decisiva a una seconda rivoluzione nel settore delle sorgenti di luce. L'odierno progetto International Linear Collider, già citato in precedenza, è il frutto di un'iniziativa congiunta, intrapresa molti anni fa, dei laboratori americano giapponese e tedesco – SLAC, KEK, DESY – specialisti delle collisioni e^+e^- , che produsse un intenso sviluppo di acceleratori lineari di elettroni nella direzione di fasci d'alta energia finemente suddivisi in densi pacchetti. In tal modo gli obiettivi di energia e luminosità dei collisori, hanno creato, per una convergenza evolutiva che è tanto casuale quanto fortunata, la base avanzata per la realizzazione di laser a elettroni liberi del tipo a emissione spontanea autoamplificata, un'idea italiana del 1984 [10], che ha tra gli autori Claudio Pellegrini

il quale iniziò a occuparsi d'irraggiamento degli elettroni ai tempi di Adone.

Quando un pacchetto d'elettroni molto denso è lanciato in un magnete ondulatorio contenente un grandissimo numero di poli alternati, il pacchetto di fotoni irraggiato che accompagna lo stesso pacchetto di elettroni, porta progressivamente a suddividere finemente quest'ultimo in micropacchetti che, in opportune condizioni, sono automaticamente in fase con il pacchetto di luce: il tutto si sviluppa al punto di innescare un processo spontaneo di autoamplificazione fino a saturazione (fig. 12). Tutto ciò avviene senza l'impiego di una cavità a specchi com'è previsto in un classico laser a elettroni liberi e, dunque, senza le limitazioni alle piccole lunghezze d'onda che proprio l'uso degli specchi introduce.

Si è così aperta la strada alla produzione di fasci di raggi X, di lunghezze d'onda fino all'ångstrom e oltre, di non grandissima coerenza e monocromaticità, ma di eccezionale brillantezza, molti ordini di grandezza oltre quella delle attuali sorgenti, e di definizione temporale senza precedenti, dell'ordine del femtosecondo. Queste caratteristiche innovative aprono la possibilità di ricostruire immagini di strutture a scala molecolare, fino a registrarne il movimento, con vaste prospettive di applicazione, dalla scienza dei materiali alla biologia.

A DESY è in costruzione l'X-FEL europeo e da tempo opera il suo prototipo Flash, al cui sviluppo ha molto contribuito l'INFN, anche tramite i Laboratori di Frascati, sin dalla fase di progetto del collisore lineare tedesco. A Stanford da oltre un anno opera la Linac Coherent Light Source, che impiega l'ultimo terzo dell'acceleratore lineare da tre chilometri, ormai sulla breccia da ben quaranta anni, equipaggiato con un ondulatorio di passo tre centimetri e lungo oltre cento metri. La sorgente emette radiazione a circa 1 Å, con impulsi di 100 fs di durata. Un'analoga sorgente, SPring-8, entrerà in funzione quest'anno in Giappone.

Ed è l'attività poco su ricordata all'origine dell'attuale impegno in tal campo a Frascati. Nel 2009 c'è stata la prima produzione di luce, nel verde, per emissione autoamplificata dagli elettroni dell'acceleratore lineare di 150 MeV del progetto SparC, diretto da Luigi Palumbo e realizzato con il CNR e l'ENEA in una collaborazione internazionale, che include il laboratori americani di SLAC e UCLA, e il CEA francese [11] (fig. 12). In seguito, mediante l'uso combinato di tecniche di "seeding" e di generazione d'armoniche, è stata prodotta radiazione a 41 nm – nella stessa regione di lunghezza d'onda è prossimo a operare la sorgente Fermi della Sincrotrone Trieste.

A Frascati, nella scia del prototipo prima detto è in preparazione SparX, in una collaborazione che si estende anche all'Università di Torvergata. Il progetto non solo punta a lunghezze d'onda attorno al nanometro, mediante un Linac

di oltre 1 GeV, ma si prefigge anche l'ambizioso obiettivo di integrare, nel futuro, sistemi di accelerazione a plasma già in fase di sviluppo nel laboratorio. Le tecniche a plasma puntano a sostituire i campi delle convenzionali strutture a cavità conduttrici, con quelli molto più intensi che, in opportune condizioni, si possono generare e propagare per onda negli elettroni di un plasma. Tali tecniche sono di enorme interesse per il salto di compattezza che esse promettono per le macchine, per produrre fasci di collisione, sorgenti di luce o fasci terapeutici.

Tutte queste attività di Frascati assieme a quelle prima ricordate, sono il segno tangibile della profonda e duratura influenza dell'idea di Touschek, nel laboratorio dove essa, con AdA, si materializzò cinquant'anni fa.

Ringraziamenti

Desidero ringraziare Claudio Federici per il lavoro di preparazione ed elaborazione grafica delle immagini di questo scritto. I disegni e le immagini di Bruno Touschek sono riprodotte per gentile concessione della famiglia Touschek che ringrazio.

Bibliografia

- [1] C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Ghigo, B. Touschek, "The Frascati Storage Ring", *Nuovo Cimento*, 18 (1960) 1293.
- [2] C. Bernardini, "AdA: the First Electron-Positron Collider", *Phys. Perspect.* 6 (2004) 156.
- [3] E. Amaldi, "The Bruno Touschek Legacy", CERN 81-19 (1981).
- [4] G. K. O'Neill, "Storage-Ring Synchrotron: Device for High-Energy Research", *Phys. Rev.*, 102 (1956) 1418.
- [5] C. Bernardini, U. Bizzarri, G. F. Corazza, G. Ghigo, R. Querzoli, B. Touschek, "Progress Report on AdA (Frascati Storage Ring)", 23 (1962) 202.
- [6] C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Di Giugno, J. Haissinsky, P. Marin, R. Querzoli, B. Touschek, "Measurements of the rate of interaction between stored electrons and positrons", *Nuovo Cimento*, 34 (1964) 1473.
- [7] N. Cabibbo, R. Gatto, "Electron-Positron Colliding Beam Experiments", *Phys. Rev.*, 124 (1961) 1577.
- [8] C. Bernardini, G. F. Corazza, G. Di Giugno, G. Ghigo, J. Haissinsky, P. Marin, R. Querzoli, B. Touschek, "Lifetime and beam size in a storage ring", *Phys. Rev. Lett.*, 10 (1963) 407.
- [9] P. Raimondi, M. Zobov, D. Shatilov, "Suppression of beam-beam resonances in Crab Waist collisions", *Proceedings EPAC08, Genoa, Italy* (European Physical Society Accelerator Group) 2008, p. 2620.
- [10] R. Bonifacio, C. Pellegrini, L. Narducci, "Collective Instabilities and High Gain Regime Free Electron Laser", *Optics Commun.*, 50 (1984) 373.
- [11] M. Ferrario, *et al.*, "Recent Results of the SparC-FEL Experiments", *Proceedings of Free Electron Laser Conference (FEL2009), Liverpool, UK, Agosto 2009*, 2009, p.734.

Enzo Iarocci

Enzo Iarocci è Professore di Fisica Generale alla Facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma "La Sapienza". Si è occupato di rivelatori di particelle, sviluppando i tubi a "streamer". Ha svolto esperimenti di fisica astro-particellare nel laboratorio del tunnel del Monte Bianco e presso i Laboratori Nazionali del Gran Sasso, e di fisica delle interazioni elettrone-positrone, ad Adone prima e in questo periodo a DaΦne, a Frascati. Ha diretto i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, ed è stato presidente dell'INFN e del "Council" del CERN. Ora è membro del Consiglio di Amministrazione del Centro di Ricerche Enrico Fermi.

NUOVI MATERIALI DALLE SORPRENDENTI PROPRIETÀ OTTICHE

VITO MOCELLA

Istituto per la Microelettronica e Microsistemi, CNR, Napoli, Italia

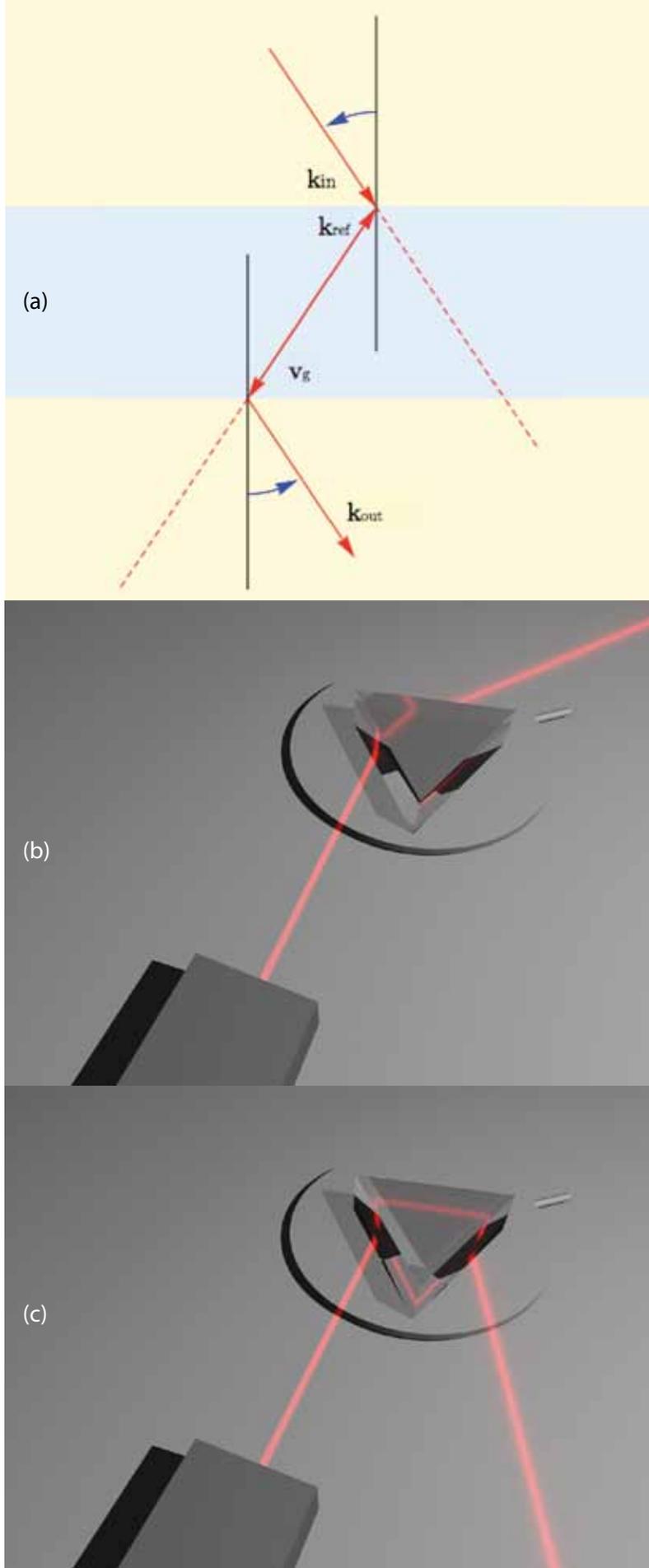
Le proprietà ottiche acquisite dai metamateriali sono, oltre che inconsuete, anche straordinarie, se si pensa alla possibilità di ottenere un indice di rifrazione negativo. Per questo motivo sono stati definiti come "antimateria ottica", per quanto da un punto di vista più fondamentale il comportamento della materia resti ordinario, poiché le modifiche avvengono ad una scala grande rispetto a quella interatomica. In contrapposizione ai materiali disponibili in natura, che hanno sempre indice di rifrazione positivo, l'antimateria ottica viene realizzata grazie all'ausilio delle nanotecnologie mostrando la sorprendente proprietà di annullare otticamente una porzione equivalente di materia ordinaria.

1 Introduzione: indice di rifrazione negativo e metamateriali

Alcune grandezze fisiche sono abitualmente considerate come positive, anche se tale proprietà non discende in modo stringente da alcun principio fondamentale.

Una di queste grandezze è l'indice di rifrazione che normalmente consideriamo come una grandezza positiva e che, nonostante la grande varietà dei materiali disponibili in natura, è generalmente superiore ad 1, valore convenzionalmente attribuito al vuoto. Nonostante l'indice di rifrazione sia una quantità fondamentale nella descrizione della propagazione della luce nei mezzi continui, è bene sottolineare che esso non entra direttamente nelle equazioni di Maxwell. Da un punto di vista formale l'equazione delle onde elettromagnetiche è ottenuta combinando opportunamente le equazioni di Maxwell con le relazioni costitutive del mezzo in cui avviene la propagazione: $\vec{D} = \epsilon \vec{E}$, $\vec{B} = \mu \vec{H}$ dove in modo del tutto generale ϵ e μ possono essere quantità tensoriali che

dipendono dalla frequenza, per quanto nel seguito le considereremo semplicemente come delle quantità scalari limitandoci al caso di un'onda piana monocromatica. Nella soluzione dell'equazione delle onde che se ne ricava appare il quadrato dell'indice di rifrazione: $n^2 = \epsilon\mu$. A prima vista si potrebbe quindi ritenere che il segno dell'indice di rifrazione sia poco interessante poiché nella propagazione delle onde interviene solo attraverso il suo modulo quadro. Per capire l'importanza del segno dell'indice di rifrazione basta pensare all'interpretazione che si ricava immediatamente dall'equazione delle onde, $n = c/v$: l'indice di rifrazione può esser visto come la densità ottica del mezzo, il rapporto cioè fra la velocità della luce nel vuoto c e la velocità di propagazione v (la velocità di fase) di un'onda piana e monocromatica nel mezzo in questione. D'altra parte basta guardare la legge di Snell-Descartes per comprendere che la deviazione ottenuta basandosi su di essa cambia la direzione del raggio rifratto se assumiamo il segno negativo



nella determinazione della radice quadrata: $n = \pm \sqrt{\epsilon\mu}$, fig. 1a. La fig. 1b illustra invece la classica deviazione di una luce collimata, come quella proveniente da un laser, all'interno di un prisma di vetro con indice di rifrazione $n = 1,5$ considerando la sola rifrazione e trascurando la riflessione alle interfacce.

Il segno della radice quadrata va determinato sulla base di considerazioni fisiche ed è abbastanza agevole mostrare che nel caso abituale, cioè quando ϵ e μ sono entrambi positivi, occorre scegliere il segno positivo nella precedente relazione. D'altra parte se uno solo dei termini della radice è negativo, come ad esempio il valore di ϵ nel caso di un metallo vicino ad una risonanza plasmonica, l'indice di rifrazione che ne risulta è puramente immaginario e questo corrisponde ad una rapida attenuazione della radiazione elettromagnetica all'interno del mezzo.

Va ricordato inoltre che l'indice di rifrazione di un materiale è una grandezza macroscopica che descrive proprietà di propagazione della luce ed è proprio la lunghezza d'onda che determina a quale scala un mezzo può esser visto come un materiale omogeneo, la cui composizione discreta è ad una scala molto più piccola della lunghezza d'onda. In ultima analisi tali proprietà derivano comunque dalla struttura microscopica del mezzo in questione che, nel caso della radiazione luminosa (nell'intorno di mezzo micrometro), è di circa tre ordini di grandezza superiore alle distanze atomiche. D'altra parte, quando le lunghezze d'onda diventano confrontabili con le distanze interatomiche, parlare di indice di rifrazione perde il significato usuale per diventare più correttamente l'ordine zero di un processo di diffrazione in cui la visione usuale della rifrazione è vista come un caso particolare. Occorre sottolineare inoltre che, a livello microscopico, l'onda elettromagnetica rifratta in un mezzo non può esser vista come l'onda incidente che ha subito una deviazione nella sua direzione né tantomeno un rallentamento nella sua velocità rispetto al vuoto. Cosa avviene a livello microscopico alla radiazione incidente è ben spiegato dal teorema d'estinzione: l'onda incidente in un mezzo si estingue in una regione più o meno

Fig. 1 La rifrazione di un raggio proveniente dal vuoto, $n = 1$, in un mezzo con indice $n = -1$, all'interno del quale il vettore d'onda e la velocità di gruppo hanno la stessa direzione e verso opposto (a). La rifrazione di un fascio collimato nel passaggio in un prisma di vetro con indice di rifrazione $n = 1,5$ (b) e l'equivalente rifrazione che si otterrebbe con un prisma con indice $n = -1,5$ (c).

estesa vicino all'interfaccia mentre l'onda che si propaga nel mezzo, cioè l'onda rifratta, è una nuova onda riemessa all'interno del mezzo ed in grado di autosostenersi all'interno di esso.

Cosa accade quindi se ϵ e μ sono entrambi negativi ed il termine sotto la radice $n = \pm \sqrt{\epsilon\mu}$ è pertanto positivo? Come rilevato da Veselago nel 1967 [1], nella determinazione della radice quadrata occorre in tal caso scegliere il segno negativo e quindi l'indice di rifrazione cambia di segno. La prima immediata conseguenza è quella che la deviazione ad un'interfaccia, determinata dalla legge di Snell-Descartes, cambia di segno ed è quindi dal lato opposto rispetto alla normale all'interfaccia, fig. 1a. La fig. 1c illustra il comportamento di un fascio collimato in un prisma di caratteristiche uguali ed opposte a quelle del prisma in fig. 1b. Come si nota la deviazione è in direzione opposta rispetto alla normale e questo comporta una deviazione finale del prisma completamente invertita in confronto al fascio deviato nel prisma con indice positivo di fig. 1b.

Tenendo conto anche della dispersione cromatica, cioè della dipendenza dalla frequenza di ϵ e μ , per tali materiali più correttamente occorre parlare di velocità di gruppo ($\vec{v}_g \equiv d\omega / d\vec{k}$) negativa, orientata cioè nella stessa direzione ma in verso opposto rispetto alla velocità di fase ($\vec{v} \equiv \omega / \vec{k}$) che ha il verso del vettore d'onda: $\vec{k} \cdot \vec{v}_g < 0$ è dunque la proprietà che in generale è verificata nel caso di un mezzo con rifrazione negativa, come illustrato in fig. 1a dove va notata anche la conservazione della componente tangente del vettore d'onda.

È facile comprendere come un materiale con indice di rifrazione negativo richieda una revisione dei risultati noti e comunemente utilizzati nel progetto degli elementi ottici, a partire dalle proprietà di una lente biconvessa che defocalizza piuttosto che focalizzare un fronte d'onda, come illustrato in fig. 2a e fig. 2b.

L'inversione della rifrazione ha però un'altra conseguenza sorprendente: uno strato di indice di rifrazione negativo è in grado di focalizzare un fascio divergente senza bisogno di alcuna curvatura. La semplice applicazione della legge di Snell-Descartes mostra come un fascio divergente emesso – o riflesso – da un oggetto focalizza una prima volta all'interno

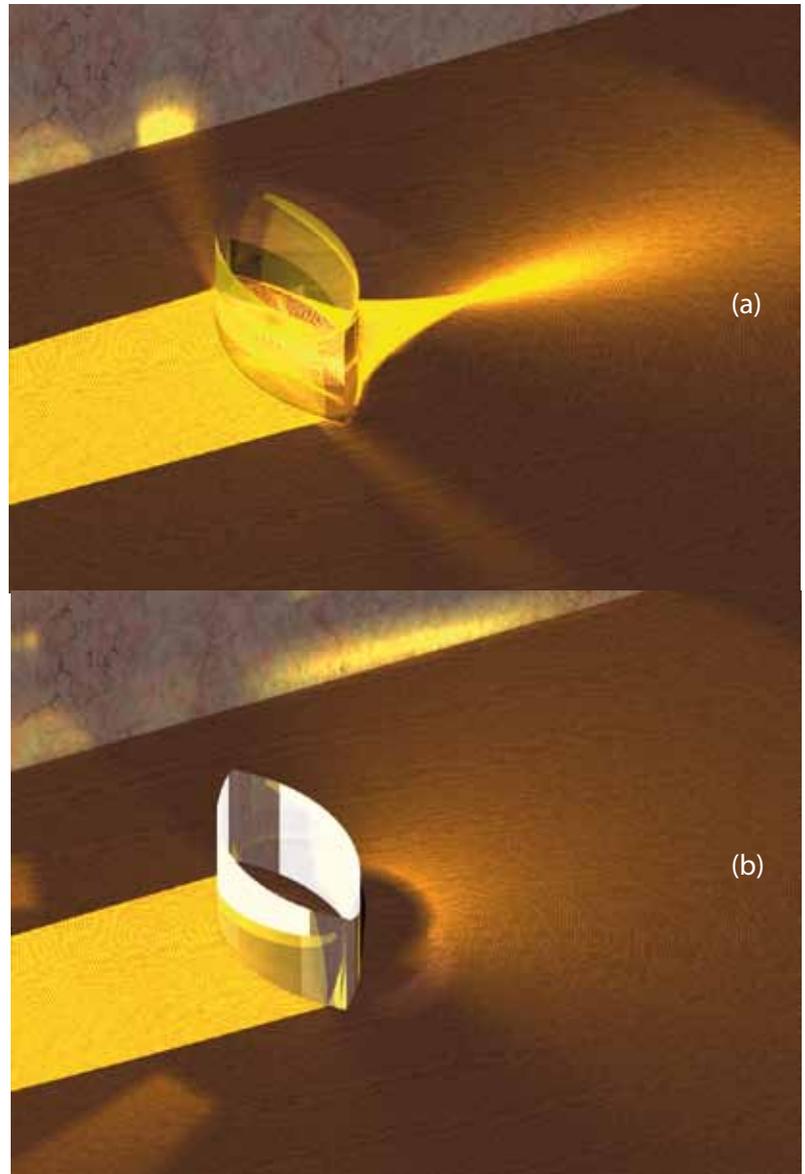


Fig. 2 Il comportamento di una lente biconvessa in vetro con indice $n = 1,5$, che focalizza un fronte d'onda piano ed in cui è ben visibile la caustica di rifrazione che accompagna le classiche aberrazioni sferiche (a) e l'equivalente comportamento di una lente biconvessa con indice $n = -1,5$ che causa la divergenza di un fronte d'onda piano (b), in un certo senso equivalente al caso di una lente biconcava con indice positivo.

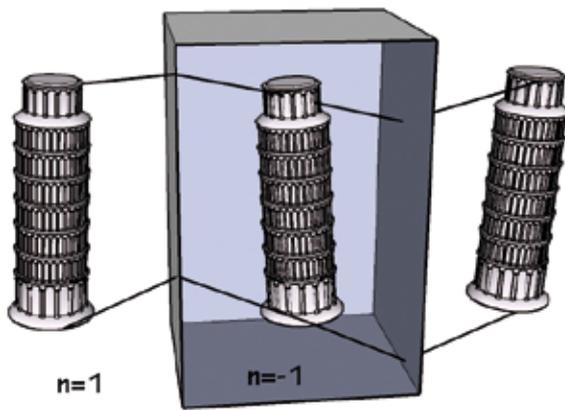


Fig. 3 Il comportamento di una regione ad indice di rifrazione negativo pari a -1 , priva di ogni curvatura sulla base dell'applicazione della legge di Snell-Descartes. L'immagine dell'oggetto posto innanzi si forma dapprima, invertita, all'interno della regione ad indice negativo per poi formarsi all'uscita identica all'ingresso, priva di aberrazioni.

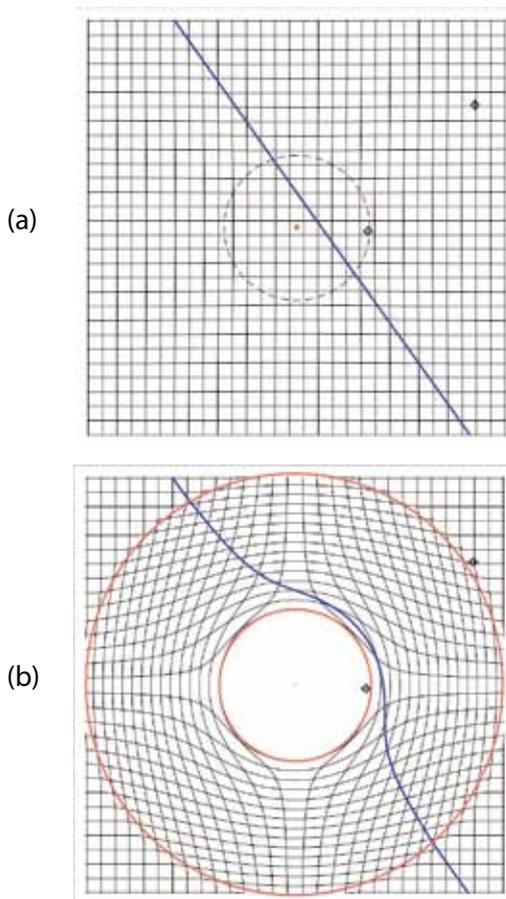


Fig. 4 L'applicazione di una trasformazione di coordinate fra uno spazio cartesiano in cui è presente il vuoto (spazio elettromagnetico) ed in cui la luce si propaga seguendo traiettorie rettilinee, la linea blu in (a), ed il percorso della luce che segue le traiettorie dello spazio trasformato (b) accomodandosi attorno alla regione interna al cerchio rosso di raggio R_1 . Nella regione compresa fra i due cerchi, di raggio R_1 e R_2 , nello spazio fisico in (b), è stato introdotto un materiale in accordo con l'eq. (1) e pertanto la luce fuoriesce da essa in modo del tutto inalterato rispetto al percorso del raggio in (a). La regione inclusa dal cerchio interno risulta pertanto invisibile dall'esterno.

del materiale ad indice di rifrazione pari a -1 fornendo una prima immagine invertita specularmente all'interno ed una seconda volta all'esterno della regione di indice negativo, formando un'immagine identica alla sorgente, come mostrato in fig. 3.

Per questo motivo tale lente è definita ideale: essa possiede la proprietà notevole di essere l'unico elemento ottico, insieme allo specchio piano, che fornisce un'immagine priva di aberrazioni ottiche, a parte quelle dovute alla sua dimensione finita, che possono essere rese piccole a piacere aumentandone la taglia.

Difatti le lenti classiche possiedono sempre una curvatura, convessa nel caso di una lente convergente, tale da formare l'immagine nel piano focale. La curvatura della lente introduce la presenza di un asse ottico e ad esempio, nel caso di lenti sferiche, è responsabile dell'aberrazione sferica che pone una limitazione alla qualità dell'immagine dei sistemi ottici classici. Il sistema ottico illustrato nella fig. 3 è invece privo di asse ottico e quindi un materiale ad indice di rifrazione negativo, uguale ed opposto a quello del mezzo che lo circonda, riproducendo un'immagine a valle di una lente piatta non soffre delle limitazioni imposte dall'aberrazione ottica: l'immagine prodotta è priva di distorsioni ad essa legata e può pertanto essere vista come una lente ideale.

Ma questa lente ideale nasconde altre sorprese: una limitazione stringente alla risoluzione delle ottiche classiche è imposta dal cosiddetto limite di diffrazione che limita a circa la metà della lunghezza d'onda il più piccolo dettaglio che può essere risolto da un'ottica classica. Il limite è determinato dal fatto che le componenti spettrali, che contengono l'informazione dei dettagli inferiori alla metà della lunghezza d'onda, sono associate a componenti evanescenti del vettore d'onda e pertanto esse decrescono esponenzialmente con la distanza, restando confinate in prossimità della sorgente. La derivazione effettuata da Pendry [2] sulla lente ideale di Veselago [1] mostra il ruolo di un mezzo ad indice negativo sulle componenti evanescenti che vengono amplificate mentre si propagano nella lente piatta con indice negativo, cosicché all'uscita esse

possono essere focalizzate partecipando alla ricostruzione "perfetta" dell'immagine. Per questo motivo tale lente viene definita non semplicemente ideale ma *perfetta* una vera e propria *superlente*, il termine affermatosi nel settore dei metamateriali.

Ma tali sorprendenti proprietà, legate all'indice di rifrazione negativo, sono davvero realizzabili ed in qual misura esse non si scontrano con principi fisici fondamentali? Per quanto riguarda l'indice di rifrazione ricordiamo come da tempo sia stato chiarito che nessun principio è violato da un indice di rifrazione inferiore ad 1, proprietà che a piccola lunghezza d'onda (è il caso dei raggi X duri, ad esempio) è propria di tutti i materiali. Analogamente il fatto che un mezzo possa avere un indice di rifrazione non semplicemente inferiore ad 1 ma addirittura negativo, almeno in una certa regione spettrale, è una proprietà certo inusuale ma che non viola alcunché in quanto occorre considerare l'indice di rifrazione sull'intero spettro di frequenze. Come prevedibile tali aspetti sono stati a lungo dibattuti quando il concetto di metamateriale ha cominciato ad affacciarsi nel consesso scientifico. L'inevitabile dispersione spettrale presente in ogni mezzo ed in particolare nei metamateriali i quali, in un modo o nell'altro, legano le peculiari proprietà alla presenza di risonanze (di tipo metallo-dielettrico o di tipo puramente dielettrico) risolve il problema teorico della presenza di una singolarità non eliminabile che altrimenti inficerebbe la derivazione nel concetto di superlente, capace di ricostruire un'immagine senza alcun deterioramento, con il contributo di tutte le componenti evanescenti [3].

2 Antimateria ottica e trasformazioni ottiche

Le proprietà sopra illustrate sono riconducibili al più generale concetto di antimateria ottica che a sua volta è strettamente connesso all'interpretazione della superlente in termini di trasformazioni ottiche, in particolare alle trasformazioni relative alla piegatura dello spazio ottico.

Di cosa si tratta? Le trasformate ottiche sono un interessante strumento di analisi e di sintesi per l'elettromagnetismo che consentono di ridisegnare lo spazio in cui si muove la radiazione elettromagnetica [4]. Il concetto sotteso dalle trasformate ottiche è l'equivalenza fra le proprietà del materiale in cui l'onda elettromagnetica si propaga (ϵ e μ e quindi l'indice di rifrazione) ed una corrispondente trasformazione delle coordinate, per cui le equazioni di Maxwell mantengono la stessa forma nei due sistemi di coordinate, se le proprietà del mezzo sono modificate in modo adeguato.

Il collegamento fra geometria ed ottica in sé non è nulla di nuovo e l'idea è già insita nel principio di Fermat (1662), se non si vuol rimontare all'arabo Ibn al-Haytham intorno all'anno mille: la luce segue percorsi estremi, stazionari per

esser corretti (il più lungo o il più corto, in genere il più corto) all'interno di un materiale e la misura della lunghezza ottica è determinata dall'indice di rifrazione del mezzo. Un mezzo materiale determina dunque, attraverso l'indice di rifrazione, la geometria della luce: questo è il caso del vetro di una lente o dell'aria che crea l'effetto miraggio nel deserto (o altrove, non è infrequente vederne su un'autostrada, ad esempio).

Nel caso delle trasformazioni ottiche i mezzi materiali, spesso utilizzando la libertà offerta dai metamateriali di realizzare indici di rifrazione di valore arbitrario, sono progettati in modo tale da realizzare una trasformazione di coordinate da uno spazio fisico ad uno spazio elettromagnetico virtuale.

Non è sorprendente il fatto che, dal punto di vista matematico, si stabilisca un'equivalenza fra un sistema di partenza, in genere un sistema di coordinate cartesiane nel vuoto, ed un sistema di coordinate trasformato in cui è possibile analizzare le equazioni di Maxwell come se fossero ancora in un sistema di coordinate cartesiane di partenza ma in un mezzo opportuno con ϵ e μ determinati dalla trasformazione di coordinate. Questa proprietà in precedenza era vista essenzialmente come una metodologia utile nella soluzione numerica di problemi espressi in sistemi di coordinate complesse, per i quali è più agevole trovare la soluzione in un sistema di coordinate cartesiane avendo – come puro artificio matematico – introdotto in esso opportuni ϵ e μ legati dalla trasformazione fra i sistemi di coordinate $\vec{x} \rightarrow \vec{x}'$:

$$(1) \quad \epsilon^{i'j'} = \frac{\Lambda_i^{i'} \Lambda_j^{j'}}{|\det(\Lambda_i^{i'})|},$$

dove $\Lambda_\alpha^{i'} = \partial x^{i'} / \partial x^\alpha$ è la matrice jacobiana della trasformazione.

Il punto di vista affacciato con l'avvento dei metamateriali è invece radicalmente diverso: non semplicemente uno strumento numerico ma una vera e propria metodologia per disegnare lo spazio in cui la luce si propaga. Ciò è possibile sfruttando la libertà offerta dai metamateriali che permettono di progettare materiali con indici di rifrazione arbitrari, inclusi quelli negativi. Il risultato pratico di questo approccio, che prima era un mero artificio matematico, è che nello spazio fisico, dove è presente un mezzo il cui indice di rifrazione è scelto in accordo con la trasformazione di coordinate, eq. (1), la luce si propaga seguendo i percorsi del sistema di coordinate dello spazio elettromagnetico, in virtù dell'equivalenza sopra ricordata.

Per capire come nella pratica funziona questo approccio riferiamoci alla fig. 4, in cui vediamo due spazi distinti e due diversi sistemi di coordinate, r' (a) ed r (b). Nel primo spazio, fig. 4a, che denominiamo spazio elettromagnetico non vi è alcun mezzo ed in esso scriviamo le equazioni di

Maxwell nel vuoto in un sistema cartesiano. Effettuiamo poi la trasformazione di coordinate fra i due spazi: $r = R_1 + r'(R_2 - R_1)/R_2$ dove R_1 ed R_2 sono il raggio del cerchio interno e di quello esterno in fig. 4b, ed utilizzando la (1) otteniamo le caratteristiche del mezzo. Grazie all'equivalenza fra trasformazione di coordinate e proprietà ottiche del mezzo, interpretiamo la trasformazione della griglia cartesiana di fig. 4a nella griglia deformata dello spazio fisico di fig. 4b come la trasformazione delle traiettorie della luce nello spazio vuoto, che sono delle linee dritte, nelle traiettorie lungo la griglia trasformata che la luce segue quindi nello spazio fisico.

La metodologia illustrata mostra il primo degli spettacolari risultati proposti seguendo questo approccio: quello della realizzazione di una regione di invisibilità, operando una trasformazione di coordinate tale da espandere un singolo punto in una sfera di dimensione finita. Tutto quel che è contenuto all'interno della sfera di raggio R_1 è inaccessibile alla luce e pertanto invisibile dall'esterno poiché la luce viene guidata nella regione fra R_1 ed R_2 emergendo da essa senza esserne disturbata. D'altra parte poiché è infinitesima la radiazione che penetra un punto nello spazio elettromagnetico, nello spazio fisico sarà infinitesima la radiazione che penetra all'interno della sfera ottenuta dalla trasformazione di coordinate e pertanto tale regione risulterà invisibile alla luce, così come illustrato in fig. 4.

Va notato che – come nel caso della superlente – anche questo risultato ideale resta tale in quanto la perfetta invisibilità richiede che i raggi di luce posti sulla frontiera interna della regione, R_1 , attraversino la stessa nello stesso tempo in cui essi attraversano il punto dell'origine dello spazio elettromagnetico, fig. 4a. Poiché un punto è attraversato in un tempo nullo questo richiede una velocità di fase che tende ad infinito nell'avvicinarsi alla regione di invisibilità posta ad $r = R_1$ nello spazio fisico, fig. 4b. Alla dimostrazione sperimentale di una visibilità molto ridotta nel dominio delle microonde, si accompagna una difficoltà a realizzare lo stesso risultato nel campo del visibile e del vicino infrarosso. Senza soffermarci sui dettagli di queste derivazioni, va sottolineato il fatto che sono state proposte una serie di approssimazioni ed in particolare è stata mostrata sperimentalmente la possibilità di rendere "poco visibile" per radiazioni nel vicino infrarosso ed in una regione relativamente ampia di lunghezza d'onda, un oggetto posto sotto un tappetino, il cosiddetto "carpet-cloak". Vale la pena notare che, nella misura in cui nessun raggio penetra all'interno della regione di invisibilità, da essa nessun raggio può fuoriuscire e pertanto dal suo interno non è possibile guardare, stabilendo una "fondamentale" differenza con il cosiddetto "mantello di Harry Potter", la cui analogia ha attratto la curiosità dei media verso tale tipo di ricerca.

Il concetto di antimateria ottica, come proposto da Pendry-

Ramakrishna [5], non fa direttamente ricorso alle trasformate ottiche, ma esse permettono di reinterpretare il risultato all'interno di un unico approccio fisico-matematico che dà una visione d'insieme ai fenomeni correlati alla libertà progettuale offerta dai metamateriali. Riveniamo quindi alla definizione originaria secondo cui vengono denominati in ottica come materia ed antimateria due materiali con proprietà ottiche (ϵ e μ) esattamente uguali ed opposte. Si mostra analiticamente [5] che, indipendentemente dalla geometria che hanno materia ed antimateria ottiche, essi si annullano a vicenda ed il risultato finale è quello di rendere inesistente – otticamente – un'intera porzione dello spazio. In termini di trasformate ottiche questo si traduce in una trasformazione del tipo ripiegamento dello spazio, piuttosto che di espansione dello stesso come nel caso dell'invisibilità del tipo "mantello di Harry Potter" illustrato in fig. 4. In fig. 5a è illustrato il funzionamento della superlente in termini della trasformazione $\vec{x} \rightarrow \vec{x}'$: in questo caso lo spazio elettromagnetico si ripiega su se stesso ed è per questo motivo che un'intera porzione di spazio è otticamente rimossa dall'esperimento, fig. 5b. Una sorgente posta all'ingresso dello spazio ripiegato si ritrova quindi riportata a valle del ripiegamento e pertanto l'immagine che ne risulta è perfetta. Il concetto di antimateria ottica permette di comprendere tale funzionamento in modo molto più diretto rispetto alla derivazione matematica di Pendry basata sull'amplificazione delle componenti evanescenti in presenza di un indice di rifrazione negativo, derivazione per altro non priva di insidie legate alla presenza di singolarità. L'immagine è restituita nella sua interezza, poiché la porzione di spazio fra l'oggetto e la sua immagine è rimossa e quindi l'oggetto è semplicemente trasferito a valle laddove è posta la sua immagine, come illustrato in fig. 6, mentre lo spazio che è frapposto fra oggetto ed immagine è come se fosse ripiegato su se stesso, quantomeno dal punto di vista elettromagnetico.

3 Alcuni esperimenti sull'antimateria ottica

Una delle difficoltà incontrate inizialmente nella realizzazione di metamateriali funzionanti nel dominio del visibile, o nel vicino infrarosso, è stata quella della loro difficoltà realizzativa poiché essi richiedono la fabbricazione di oggetti con un passo piccolo rispetto alla lunghezza d'onda. L'affacciarsi delle nanotecnologie, in particolare con l'utilizzo di litografie a fascio elettronico, ha consentito di risolvere questo limite quantomeno per le geometrie planari. Esse infatti rendono disponibili con una certa flessibilità e con grande precisione, litografie su una vasta gamma di materiali a dimensioni sempre più ridotte ed in particolare su scale confrontabili, e più piccole, della lunghezza d'onda in oggetto, raggiungendo quindi le risoluzioni necessarie per

la realizzazione dei metamateriali anche in questa regione di frequenze.

L'altro limite essenziale all'utilizzo pratico dei metamateriali è il forte assorbimento che invariabilmente accompagna materiali e strutture di tipo metallo-dielettrico nella regione del visibile e del vicino infrarosso, in particolare in prossimità delle risonanze di tipo plasmonico che spesso sono utilizzate per la realizzazione di ε negativa. È, infatti, possibile mostrare che l'assorbimento, oltre a ridurre l'intensità della radiazione nel piano immagine, riduce drasticamente la risoluzione ottenibile fino ad annullare completamente il vantaggio potenziale della superlente.

Una delle strade alternative alla realizzazione di metamateriali, che si è presentata parallelamente alle strutture metallo-dielettriche, è quella dell'utilizzo delle proprietà dei cristalli fotonici. Si tratta di strutture artificiali ordinate come i cristalli ordinari ma con un passo reticolare vicino alla lunghezza d'onda della radiazione elettromagnetica, che storicamente hanno preceduto lo sviluppo dei metamateriali. In un certo qual senso i metamateriali possono esser visti come un concetto più esteso, di cui i cristalli fotonici possono essere considerati come un sottoinsieme. Nel caso dei cristalli fotonici è relativamente agevole ragionare in termini di indice di rifrazione, laddove ha meno senso parlare di permittività elettrica ε e permeabilità magnetica μ effettive. D'altronde i metamateriali, ed i cristalli fotonici in questo contesto non fanno eccezione, sono materiali fortemente dispersivi spazialmente, per cui può risultare più agevole ragionare in termini di campi macroscopici \vec{E} , \vec{D} e \vec{B} , considerando semplicemente $\mu = 1$ e $\varepsilon(\omega, \vec{k})$, in cui la dipendenza dal vettore d'onda comporta l'inclusione di effetti di dispersione spaziale, un approccio seguito anche da Landau e Lifschitz [6] e per cui è possibile mostrare l'equivalenza nella derivazione delle proprietà di rifrazione negativa [7].

È questa la strada che abbiamo deciso di seguire nei laboratori dell'Istituto di Microelettronica e Microsistemi del CNR di Napoli avvalendoci della collaborazione del Molecular Foundry dei Berkeley Labs negli Stati Uniti, dove l'esperienza dell'equipe capeggiata dall'italiano Stefano

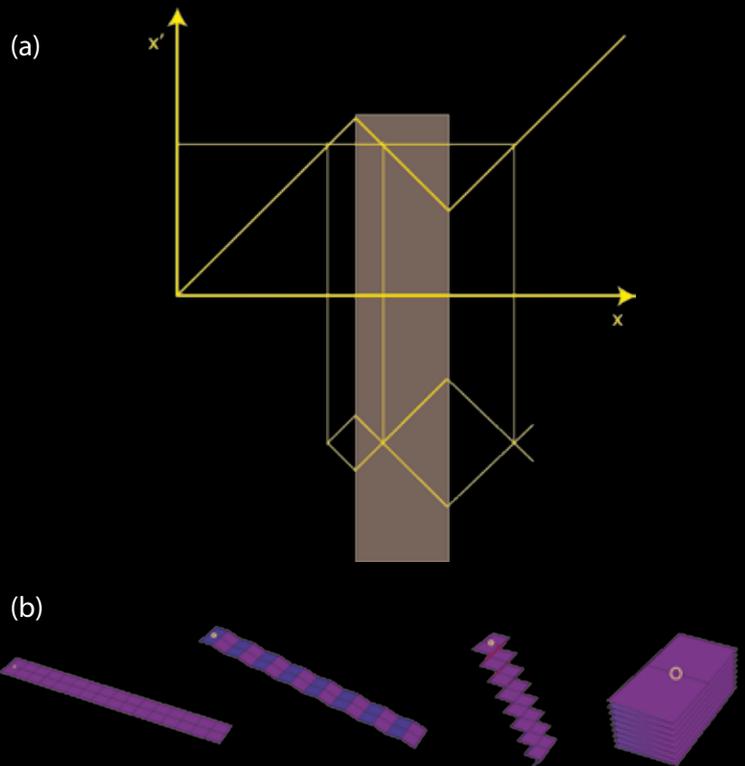


Fig. 5 La trasformazione del tipo spazio ripiegato (a) equivale alla superlente di cui alla fig. 3. Ripetendo tale trasformazione varie volte si rende otticamente inesistente una porzione dello spazio, trasferendo così la sorgente a valle della zona ripiegata, (b).

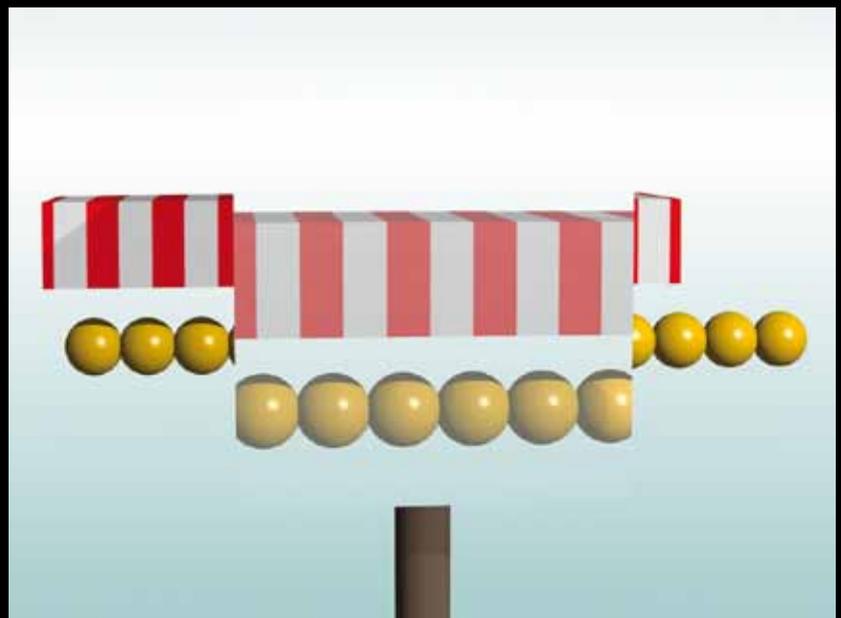


Fig. 6 L'immagine di un oggetto situato dietro ad uno strato ad indice di rifrazione pari a -1 , posto sul supporto scuro nel basso della figura, viene trasferita a valle dello stesso del tutto inalterata, come se lo spazio compreso fra oggetto ed immagine fosse stato rimosso.

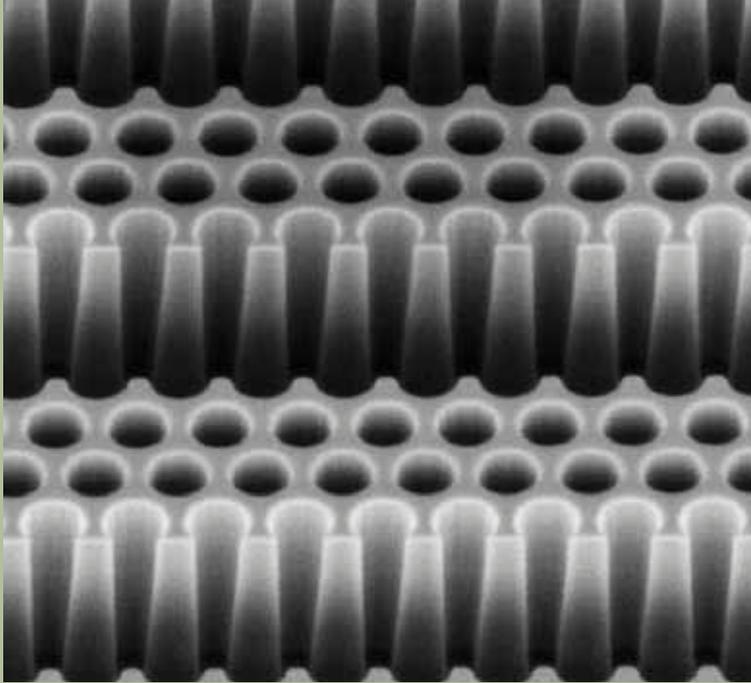


Fig. 7 Un campione di cristallo fotonico con indice effettivo pari a -1 , alternato a regioni di aria di egual lunghezza [8].

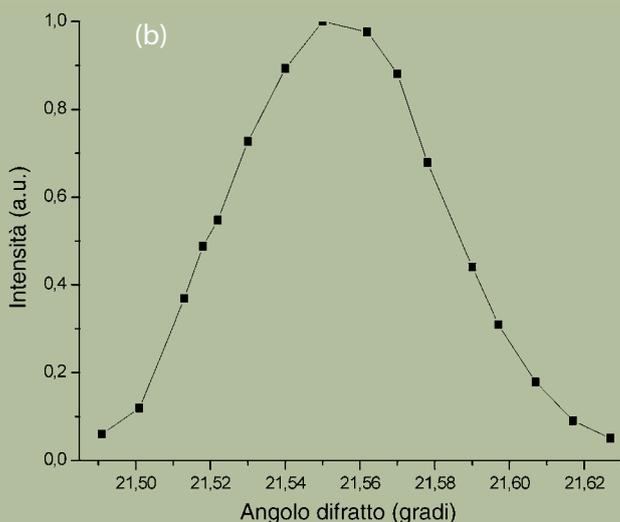
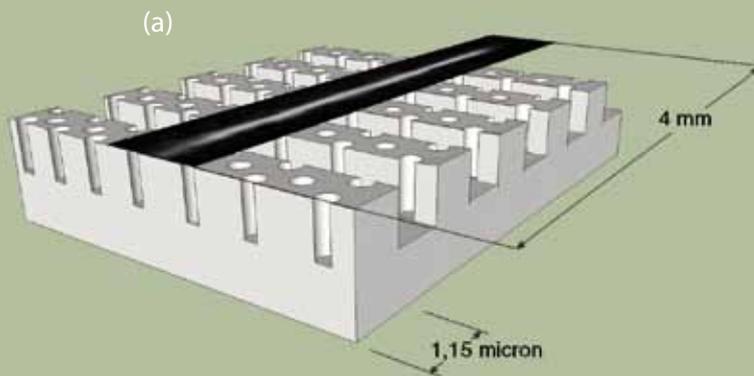


Fig. 8 Le zone di aria ed “anti-aria”, di cui alla fig. 7, si annullano a vicenda e la luce posta in ingresso viene trasferita inalterata all’uscita. Si noti che, per motivi espositivi, in (a) la regione di metamateriale ad indice negativo ha una lunghezza di circa $1 \mu\text{m}$ e non è in scala con l’immagine sperimentale, di lunghezza 4 mm , ad esso sovrapposta. Il fascio diffratto dalla struttura ha una divergenza estremamente ridotta il cui picco è pari a $0,06^\circ$ (b).

Cabrini, utilizzando le strumentazioni di nanofabbricazione all’avanguardia dei loro laboratori, ha realizzato campioni basati sul progetto da noi effettuato, un progetto particolarmente impegnativo poiché esso ha richiesto una precisione nanometrica su una dimensione di alcuni millimetri.

Un esempio è illustrato in fig. 7, dove è possibile apprezzarne la qualità fabbricativa, in particolare delle regioni dove il cristallo fotonico, ad indice di rifrazione negativo, è stato terminato in modo tale da consentire l’accoppiamento di onde evanescenti necessarie per la super-risoluzione della lente “perfetta”. Nel caso in questione si tratta di migliaia di terminazioni che accoppiano migliaia di superlenti a porzioni di aria di egual lunghezza. Come sopra ricordato il cristallo fotonico, con opportune caratteristiche, si comporta come un metamateriale con indice di rifrazione pari a -1 ed è pertanto otticamente un’anti-aria rispetto all’adiacente porzione di aria con indice vicino a quello del vuoto. Ogni porzione di anti-aria otticamente annulla l’adiacente porzione di aria ed il risultato finale è pari alla rimozione di una porzione macroscopica lunga, nel caso in questione, 4 mm . In termini di trasformate ottiche questo equivale quindi ad un ciclico ripiegamento dello spazio su se stesso per migliaia di volte fino a riportare la sorgente in ingresso all’uscita della regione. Sperimentalmente abbiamo pertanto posto all’ingresso una radiazione incidente fortemente focalizzata e pertanto immediatamente divergente a valle del fuoco ($3 \mu\text{m}$ la dimensione del fuoco del fascio incidente per $\lambda = 1,5 \mu\text{m}$) ed abbiamo osservato che essa viene trasferita tal quale all’uscita dopo aver attraversato ben 4 mm cioè una lunghezza pari a migliaia di lunghezze d’onda (cf. fig. 7) laddove un fascio così fortemente divergente, poiché non è presente alcuna struttura che lo confini lateralmente, dovrebbe divergere per diffrazione molto rapidamente [8]. D’altra parte le straordinarie proprietà della propagazione della luce in queste strutture che alternano materia ed antimateria ottica sono confermate dall’analisi dei picchi di diffrazione della radiazione che, per quanto in misura molto ridotta, inevitabilmente viene diffusa verso l’alto dalla

struttura.

Nonostante la presenza di un'onda incidente estremamente divergente i picchi di diffrazione mostrano una radiazione diffratta estremamente collimata: la collimazione misurata è di $0,06^\circ$, ai limiti del nostro apparato sperimentale. Tale direttività conferma il comportamento atteso dell'antimateria ottica, che annulla l'equivalente parte di aria ad essa adiacente, finendo per ripiegare su se stessa una porzione di 4 mm di spazio che in definitiva "non esiste" per la propagazione della luce al suo interno e non subisce quindi l'inevitabile allargamento – tanto nella direzione laterale quanto in quella verticale – legato alla propagazione di un fascio divergente su una lunghezza macroscopica rispetto alla lunghezza d'onda. Nel muoversi all'interno di tale spazio ripiegato la debole luce che viene comunque persa verso l'alto per gli inevitabili difetti fabbricativi, finisce per avere un ben determinato vettore d'onda lungo la direzione del ripiegamento e questo determina l'estrema collimazione della luce diffratta il cui profilo angolare estremamente direttivo è illustrato in fig. 8 [9].

4 Conclusioni

Il concetto di antimateria ottica che generalizza, anche per geometrie complesse, il risultato della superlente proposta da Pendry e che offre, insieme all'utilizzo delle trasformate ottiche, un nuovo approccio per ridisegnare lo spazio elettromagnetico in cui virtualmente la luce si propaga, permette di studiare effetti e realizzare dispositivi ottici impensabili fino a pochi anni fa.

Lo sviluppo delle ricerche nel campo dei metamateriali insieme all'utilizzo delle nanotecnologie consente oggi l'applicazione di queste metodologie anche nel campo ottico del visibile e del vicino infrarosso ed è facilmente prevedibile che questo comporterà un cambiamento sostanziale nel mondo dell'ottica tanto dal punto di vista teorico quanto nelle applicazioni, molte delle quali futuribili appaiono oggi meno lontane di quanto si potesse pensare fino a pochi anni or sono.

Bibliografia

- [1] V. G. Veselago, "The electrodynamics of substances with simultaneously negative values of ϵ and μ ", *Sov. Phys. Usp.*, 10 (1968) 509 (edizione in lingua russa: *Usp. Fiz. Nauk*, 92 (1967) 517).
- [2] J. B. Pendry, "Negative Refraction Makes a Perfect Lens", *Phys. Rev. Lett.*, 85 (2000) 3966.
- [3] D. Maystre e S. Enoch, "Perfect lenses made with left-handed materials: Alice's mirror?", *J. Opt. Soc. Am. A*, 21 (2004) 122.
- [4] U. Leonhardt e T. G. Philbin, *Geometry and Light: The Science of Invisibility* (Dover, Mineola) 2010.
- [5] J. B. Pendry e S. Anantha Ramakrishna, "Focussing light with negative refractive index", *J. Phys.: Condens. Matter*, 15 (2003) 6345.
- [6] L. D. Landau e E. M. Lifshitz, *Electrodynamics of continuous media* (Elsevier) 1984.
- [7] V. M. Agranovich e Y. N. Gartstein, "Spatial dispersion and negative refraction of light", *Phys. Usp.*, 49 (2006) 1029.
- [8] V. Mocella *et al.*, "Self-Collimation of Light over Millimeter-Scale Distance in a Quasi-Zero-Average-Index Metamaterial", *Phys. Rev. Lett.*, 102 (2009) 133902.
- [9] V. Mocella *et al.*, "An extraordinary directive radiation based on optical antimatter at near infrared", *Optics Express*, 18 (2010) 25068.

Ulteriori approfondimenti

Per una discussione dettagliata sulle aberrazioni dei sistemi ottici basati su materiali ad indice negativo è possibile riferirsi a:

D. Schurig e D. R. Smith, "Negative index lens aberrations", *Phys. Rev. E*, 70 (2004) 065601.

Il libro citato in [4] è particolarmente completo per quanto riguarda le trasformate ottiche, vi sono comunque degli ottimi lavori di rassegna sull'argomento, come: U. Leonhardt e T. G. Philbin, "Transformation Optics and the Geometry of Light", *Prog. Optics*, 53 (2009) 69.

Vito Mocella

Vito Mocella, laureato presso l'Università di Napoli "Federico II" ha conseguito il dottorato all'Università J. Fourier di Grenoble (Francia) lavorando presso l'European Synchrotron Radiation Facility e dopo un periodo di post-doc presso gli Argonne National Labs (USA) è attualmente ricercatore presso l'Unità di Napoli dell'IMM-CNR, dove coordina le attività nel campo dei cristalli fotonici e dei metamateriali. Nel 2007 è stato nominato Cavaliere al Merito della Repubblica dal Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano.

DALLA MECCANICA ALL'HIGH-TECH INDUSTRIALE: LA PICCOLA DI GUIDONIA È CRESCIUTA



Lo staff della CECOM.

La CECOM Snc (Ceracchi & Company Officine Meccaniche), è nata nel 1964, dall'idea di C. Ceracchi di perfezionare il proprio lavoro di tecnico fresatore dedicandosi alla meccanica di precisione, e oggi è una azienda affermata tra le piccole e medie imprese che si occupano di alta tecnologia industriale.

Sistemi meccanici complessi per acceleratori di particelle, meccanismi robotici e apparati in Ultra Alto Vuoto (UHV) vengono prodotti nell'ambito di progetti industriali, sperimentali, medici e militari, per conto di committenti provenienti da tutto il mondo.

Con un fatturato annuo compreso tra 4 e 5 milioni di euro, e circa 40 dipendenti nei due stabilimenti a Guidonia (Rm), la CECOM è una piccola realtà industriale di successo. A discapito delle dimensioni contenute, nel corso degli anni aumenta il volume delle commesse, fino ad assumere un posto di rilievo tra le aziende meccaniche high-tech. Nel 2001 raddoppia il suo organico, per fare fronte alle commesse provenienti dal CERN per il progetto LHC.

A. Ceracchi, responsabile commerciale e finanziario, sottolinea che "le medie dimensioni dell'azienda sono state spesso un punto di forza: ci hanno permesso di essere flessibili nell'adattare la produzione e il lavoro dei nostri tecnici al mercato dell'alta tecnologia industriale che è in continua evoluzione".

Con l'esigenza di stare al passo con le rivoluzioni di un mercato così instabile, l'azienda investe molte risorse nella formazione continua del personale, organizzando periodici corsi di perfezionamento per i dipendenti. Del resto, la competenza tecnica è un requisito fondamentale nel lavoro dei tecnici CECOM. Con un organico formato per lo più da ingegneri e periti meccanici, e avvalendosi di collaboratori esterni esperti in progettazione, in questi anni la CECOM ha firmato importanti collaborazioni scientifiche.

In particolare, ha collaborato con il Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica di Milano, nella realizzazione di tutte le 16 camere da vuoto dell'anello principale di un sincrotrone in grado di accelerare sia protoni che ioni carbonio. Viene impiegato per la ricerca oncologica e per l'applicazione di una nuova tecnica utilizzata nel trattamento dei tumori (a profondità variabili da 1 a 27 cm).

Per l'INFN di Frascati (Rm) ha realizzato le otto camere di curvatura e delle camere da vuoto per DAΦNE, un acceleratore di positroni ed elettroni. Inoltre ha realizzato componenti per il vettore spaziale Ariane 5, in particolare alcuni elementi meccanici del sistema di separazione degli stadi del razzo. Anche il CNR, l'ENEA e varie università italiane sono clienti della CECOM, oltre a varie società del gruppo Finmeccanica in contratti per la difesa e, naturalmente, il CERN.

Un impegno coronato dal successo

Da quando è iniziata l'avventura europea dell'azienda con le commesse per LHC, nel 2001, l'azienda ha stipulato numerosi contratti col CERN, per un totale di circa 4,5 milioni di euro.

Bisogna però distinguere tra incarichi affidati all'azienda direttamente dall'ente europeo e contratti esterni, stipulati con altri enti, per realizzare componenti per conto del CERN. Ad esempio la CECOM ha curato la fornitura, per conto dell'INFN di Roma, di tutte le griglie di alluminio per l'anello del CMS, per il quale ha realizzato anche il sistema di raffreddamento, per conto dell'INFN di Milano.

Dei molti prodotti realizzati per LHC dal 2001, la parte più ampia del lavoro ha riguardato la costruzione di "current leads", conduttori che permettono di alimentare il complesso sistema dei magneti superconduttori di LHC. La macchina ne utilizza circa 3300, e la CECOM ne ha realizzato molti tipi diversi.

La loro funzione è il collegamento dei circuiti elettrici di alimentazione (che si trovano a temperatura ambiente) con i circuiti freddi, i "superconducting bus bars", che si trovano in un bagno di elio liquido, alla temperatura di 4,5 K. Questi ultimi connettono tra loro i singoli magneti, raggruppandoli come in una famiglia. I 1600 circuiti elettrici da interconnettere hanno richiesto un largo impiego dei leads realizzati dalla CECOM.

Per i più di 1000 leads che operano al di sopra di 600 A, il CERN ha scelto di adottare la tecnologia dei superconduttori ad alta temperatura (HTS), finora mai così largamente impiegata in nessun altro sistema accelerante. Gli sforzi per realizzare un progetto che garantisca sia una buona performance termoelettrica, sia robustezza, dimensioni compatte e sicurezza dei componenti, sono stati notevoli, nel passaggio alla produzione in serie.

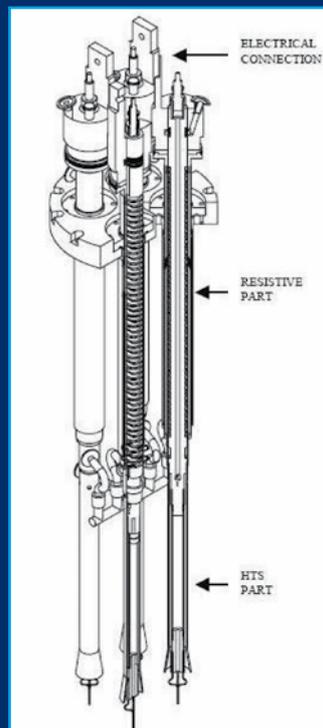
La costruzione della parte formata da materiale superconduttivo ad alta temperatura ha richiesto l'impiego di complessi sistemi di lavorazione, e ha fatto lievitare il costo della loro realizzazione. Tuttavia, il loro basso carico di calore prodotto ha permesso di compensare la spesa. Questi elementi sono meccanicamente fragili, e lo sforzo richiesto per raggiungere le estreme condizioni operative di un magnete per acceleratori rappresenta una vera sfida tecnologica.

Per i leads che lavorano a intensità di corrente inferiori, invece, è stato utilizzato il normale rame come conduttore.

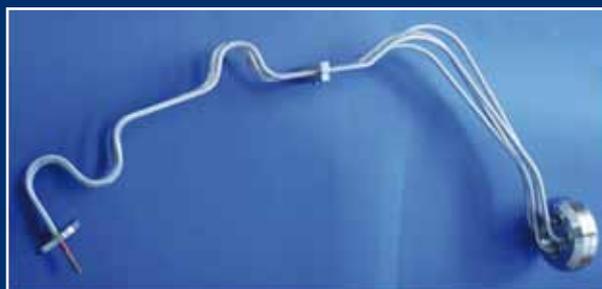
La realizzazione dei conduttori ad alta temperatura per LHC ha richiesto al CERN di effettuare uno studio di fattibilità lungo e complesso, sviluppato in fasi distinte: ottimizzazione della performance termo-elettrica dei conduttori rispetto alla struttura di LHC, progettazione concettuale e test dei prototipi, e specificazione dei requisiti richiesti, per la produzione in serie da parte delle aziende interpellate.



Current lead a 13000 A.



Schema di un current lead a 6000 A.



Current lead a 120 A.

La CECOM ha avuto un ruolo importante nel collaborare a questo progetto impegnativo, realizzando elementi pienamente rispondenti alle specifiche richieste, attraverso il lavoro in stretto rapporto con i tecnici dell'istituto europeo.

Current leads a 13000 A

Per questo contratto CECOM ha utilizzato diverse tecnologie "di frontiera", come la brasatura sotto vuoto e per diffusione, e ha dovuto avviare la costruzione di un forno speciale, dedicato appositamente a queste complesse lavorazioni.

Le dimensioni di questo conduttore (1450 x 90 mm) sono studiate per soddisfare molte esigenze differenti: essere contenute, per facilitarne il trasporto nel tunnel e l'installazione, e con una geometria studiata per garantire il trasporto ottimale di 13 kA di corrente, e per operare, nell'estremità fredda, a una temperatura di 50 K.

Un sistema di rivestimento a vuoto, che si estende per tutta la lunghezza dello scambiatore di calore, assicura l'isolamento termico del circuito ad elio (a 20 K) rispetto all'ambiente del criostato. Il raffreddamento dell'HTS è garantito da un rivestimento cilindrico in "fiberglass", che ospita elio vaporizzato a 4,5 K (per conduzione dall'HTS stesso), che viene trasferito nell'ambiente del criostato.

Current leads a 6000 A

Dal punto di vista progettuale, questi conduttori sono simili ai precedenti, ma a differenza dei primi, non operano tutti alla stessa intensità di corrente (l'intervallo di valori va da 3900 a 6900 A). La loro geometria è ottimizzata per il funzionamento a 6000 A e permette, con lo stesso disegno progettuale, di coprire l'intero intervallo dei valori di amperaggio. In prospettiva dell'impiego di numerosi leads di questi tipo, il progetto ha puntato molto sulla compattezza del disegno.

La connessione tra l'elemento HTS e il superconduttore a bassa temperatura è più semplice rispetto alla versione a 13000 A, in virtù della ridotta quantità di rame richiesto come stabilizzatore della bus bar (il circuito freddo).

Sono 196, disposti in insiemi di 4 e 8, per un totale di 36 gruppi; si tratta di conduttori convenzionali, autoraffreddati dai vapori prodotti dal calore condotto dallo stesso lead, che è immerso in un bagno di elio liquido a 4,5 K.

Sono elettricamente isolati, racchiusi in stretti tubi d'acciaio, e seguono un percorso tortuoso all'interno della cavità a vuoto del criostato. In fase progettuale, lo spazio disponibile nel criostato ha costretto ad adottare una lunghezza del conduttore già fissata in partenza, inoltre per realizzare le curvature dell'acciaio dei tubi è stato impiegato un equipaggiamento realizzato *ad hoc*, che ha impegnato i tecnici CECOM in un lavoro molto complesso.

Altre realizzazioni per LHC

- Current leads a 60 A. Derivano dallo stesso progetto utilizzato per i leads a 120 A, opportunamente adattato alle differenti richieste di amperaggio. Nella fase di realizzazione si è puntato a soddisfare soprattutto i requisiti di semplicità strutturale e di basso carico di calore all'interno del bagno di elio liquido. La performance termica ottimale è stata ottenuta variando la larghezza del conduttore (che è esigua, per ridurre la conducibilità termica) lungo la sua estensione longitudinale.
- Alloggiamenti per i BPM. I Beam Position Monitors (BPM) sono elementi di diagnostica utilizzati per il controllo del posizionamento del fascio di particelle accelerate; in particolare, misurano la traiettoria del fascio nei piani orizzontale e verticale. In totale, il progetto LHC impiega 1032 BPMs, e la CECOM ha costruito 900 alloggiamenti per questi elementi. Sono realizzati in acciaio forgiato AISI 316 LN con rivestimento in rame dello spessore di 100 µm, che ha imposto strette tolleranze di lavorazione.
- Griglie per il CMS ECAL PROJECT. Sono di 4 tipi differenti, per un incarico che ha richiesto un altissimo grado di precisione nella lavorazione meccanica, oltre alla risoluzione di un problema di foratura profonda (la realizzazione di un foro del diametro di 6 mm con lunghezza di circa 1000 mm).

Gli incarichi realizzati al CERN hanno rappresentato la dimostrazione pratica della filosofia di lavoro della CECOM, che è basata su tre concetti fondamentali: qualità, flessibilità e tecnologia.

Sul piano della qualità, l'azienda opera sin dal 1999 in conformità alla norma UNI EN ISO 9001:2000, e recentemente ha ottenuto la certificazione UNI EN ISO 14001 per il rispetto ambientale.

La flessibilità, fondamentale per una società che realizza incarichi per conto terzi, è garantita da un approccio basato sul continuo adattamento della metodologia di lavoro alle richieste del committente. Infine, la costante innovazione tecnologica dei processi produttivi, raggiunta grazie alla continua collaborazione e interscambio delle idee con grandi enti di ricerca, ha permesso all'azienda di accumulare un notevole bagaglio di conoscenze tecniche e di raggiungere traguardi significativi, affermando la sua competitività sui mercati italiani ed esteri.

Andrea Gemma
Università di Padova

a cura di Sandro Centro

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA



**INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS
“ENRICO FERMI”**

with the sponsorship of

**ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
CAMERA DI COMMERCIO DI LECCO**

SUMMER COURSES 2011

**VILLA MONASTERO
VARENNA, LAKE COMO**

APPLICATION FORM

COURSE CLXXIX
LASER-PLASMA ACCELERATION
20 – 25 June

Topics:

- Ultra-intense lasers.
- Laser-plasma interactions: basic principles and simulation.
- Applications of laser-plasma accelerations (FEL, synchrotron radiation, medical applications).
- Accelerator physics: basic principles on focusing and transport.
- Status and perspectives in new acceleration techniques (electrons).
- New electron acceleration techniques (theory).
- Perspectives in new acceleration techniques (ions).
- Laser-plasma diagnostics.
- Particle beams diagnostics and control.

Lecturers and Seminar Speakers:

M. BORGHESI - Department of Physics and Astronomy, The Queen's University of Belfast (UK)
J. COLLIER - STFC Rutherford Appleton Laboratory, Harwell Science and Innovation Campus, Didcot (UK)
E. H. ESAREY - Accelerator and Fusion Research Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, CA (USA)
A. ESPOSITO - INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Roma (Italy)
M. FERRARIO - INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Roma (Italy)
P. GIBBON - Jülich Supercomputing Centre, Institute for Advanced Simulation (Germany)
A. GIULIETTI - Istituto Nazionale di Ottica, CNR, Pisa (Italy)
D. JAROSZYNSKI - Physics Department, University of Strathclyde, Scottish Universities Physics Alliance (SUPA), Glasgow (UK)
G. KUBE - DESY and MDI, Hamburg (Germany)
W. LEEMANS - Accelerator and Fusion Research Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, CA (USA)
G. RIBOULET - Amplitude Technologies, Evry (France)

Directors of the Course:

F. FERRONI - Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma (Italy)
L. A. GIZZI - Istituto Nazionale di Ottica, CNR, Pisa (Italy)

Scientific Secretary:

R. FACCINI - Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma (Italy)

Deadline for application: April 30th, 2011

Correspondence and application forms should be sent to:

R. FACCINI
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma
Piazzale A. Moro 5
00185 ROMA (Italy)
Tel.: +39-06-49914798, Fax: +39-06-4957697
varena2011@roma1.infn.it

Opening of the Course: Monday, June 20, 2011 – 9.00 a.m.

Closing of the Course: Saturday, June 25, 2011 – 12.30 a.m.

Participation fee:

€900,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

COURSE CLXXX
THREE-DIMENSIONAL PARTONIC STRUCTURE OF THE NUCLEON
28 June – 8 July

Topics:

- Partonic distributions, fragmentation functions and factorization in QCD - Collinear case.
- Theory of Transverse Momentum Dependent partonic distributions (TMDs).
- Theory of Generalized Partonic Distributions (GPDs).
- Experimental methods in studies of hard scattering processes.
- Extraction of TMDs and GPDs from data.
- Analysis tools for azimuthal asymmetries.
- Models for TMDs and numerical methods.
- Future experiments.

Lecturers and Seminar Speakers:

E. ASCHEAUER - Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY (USA)
A. BACCHETTA - Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica, Università di Pavia and INFN, Sezione di Pavia (Italy)
V. BURKERT - Jefferson Laboratory, Newport News, VA (USA)
M. DIEHL - Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg (Germany)
H. GAO - Duke University, Durham, NC (USA)
M. GUIDAL - Institut de Physique Nucléaire, Orsay (France)
P. HAEGLER - Physik Department der TU München, Garching, (Germany)
S. KUHN - Old Dominion University, Norfolk, VA (USA)
G. MALLOT - CERN, Geneva (Switzerland)
P. MULDER - Department of Physics and Astronomy, Vrije Universiteit Amsterdam (The Netherlands)
B. PASQUINI - Dipartimento di Fisica Nucleare e Teorica, Università di Pavia and INFN, Sezione di Pavia (Italy)
A. PROKUDIN - Jefferson Laboratory, Newport News, VA (USA)
A. ROSTOMYAN - Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg (Germany)
M. STRATMANN - Physics Department, Brookhaven National Laboratory, Upton, NY (USA)
M. VANDERHAEGEN - Institut für Kernphysik, Johannes Gutenberg-Universität, Mainz (Germany)

Directors of the Course:

M. ANSELMINO - Dipartimento di Fisica Teorica, Università di Torino and INFN, Sezione di Torino (Italy)
H. AVAKIAN - Jefferson Laboratory, Newport News, VA (USA)

Scientific Secretaries:

D. HASCH - INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, Roma (Italy)
P. SCHWEITZER - Department of Physics, University of Connecticut, Storrs, CT (USA)

Deadline for application: May 5th, 2011

Correspondence and application forms should be sent to:

D. HASCH
INFN, Laboratori Nazionali di Frascati
Via E. Fermi 40, 00044 FRASCATI, RM (Italy)
Tel.: +39-06-94032310, Fax: +39-06-94032559
delia.hasch@lnf.infn.it

Opening of the Course: Tuesday, June 28, 2011 – 9.00 a.m.

Closing of the Course: Friday, July 8, 2011 – 12.30 a.m.

Participation fee:

€1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

COURSE CLXXXI
MICROSCOPY APPLIED TO BIOPHOTONICS

12 – 22 July

Topics:

- Introduction to the principles of microscopy and biophotonics.
- Fluorescence labels.
- Conventional and advanced microscopy techniques.
- In vivo microscopy.
- Intravital microscopy and tomography.
- Endoscopy.
- Physiological imaging.
- Translation from laboratory to clinic.
- Optical manipulation.
- New laser sources for microscopy.

Lecturers and Seminar Speakers:

- S. ANDERSSON-ENGELS - Department of Physics, Lund University Medical Laser Centre (Sweden)
H.-U. DODT - Department of Bioelectronics, Institute of Solid State Electronics, Wien (Austria)
C. DUNSBY - Photonics Group, Physics Department, Imperial College London (UK)
H. GERRITSEN - Utrecht University, Debye Institute, Molecular BioPhysics, Ornstein Laboratory (The Netherlands)
E. GRATTON - Laboratory for Fluorescence Dynamics, University of California, Irvine Biomedical Engineering Department, CA (USA)
S. HELL - Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie, Abteilung NanoBiophotonik, Göttingen (Germany)
K. KOENING - JenLab GmbH, Saarbrücken (Germany)
W. LANGBEIN - School of Physics and Astronomy, Queens Buildings, Cardiff (UK)
J. MERTZ - Boston University, Department of BME, MA (USA)
J. POPP - Institut für Photonische Technologien, Jena (Germany)
C. SHEPPARD - Optical Bioimaging Laboratory, Division of Bioengineering, National University of Singapore (Singapore)
G. J. TEARNEY - Massachusetts General Hospital, Boston, MA (USA)
V. TUCHIN - Research-Educational Institute of Optics and Biophotonics, Saratov State University (Russia)
S. VOGEL - National Institute on Alcohol Abuse and Alcoholism, National Institutes of Health, Bethesda, MD (USA)

Directors of the Course:

- F. S. PAVONE - LENS and Dipartimento di Fisica, Università di Firenze, Sesto Fiorentino, Firenze (Italy)
P. T. C. SO - Department of Mechanical and Biological Engineering, MIT, Cambridge, MA (USA)
P. M. W. FRENCH - Photonics Group, Physics Department, Imperial College London (UK)

Scientific Secretary:

- D. SELISCA - LENS and Dipartimento di Fisica, Università di Firenze, Sesto Fiorentino, Firenze (Italy)

Deadline for application: May 14th, 2011

Correspondence and application forms should be sent to:

D. SELISCA
LENS and Dipartimento di Fisica, Università di Firenze
Via N. Carrara 1, 50019 SESTO FIORENTINO, FI (Italy)
Tel.: +39-055-4572479, Fax: +39-055-4572520
dansel@lens.unifi.it

Opening of the Course: Tuesday, July 12, 2011 – 9.00 a.m.

Closing of the Course: Friday, July 22, 2011 – 12.30 a.m.

Participation fee:

€1.300,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

COURSE CLXXXII
NEUTRINO PHYSICS AND ASTROPHYSICS

26 July – 5 August

in collaboration with the International School on AstroParticle Physics (ISAPP)

Topics:

- An outline of the standard model of elementary particles (for astrophysicists).
- An outline of cosmology (for elementary particle physicists).
- Neutrino properties (Dirac and Majorana neutrino; neutrino mixing; phenomenology of neutrino oscillations).
- Models on neutrino mass. Non standard interactions.
- Neutrinos and cosmology.
- Neutrinos and the stars.
- Methods and problems in low energy neutrino experiments (solar, reactors, geo-).
- Methods and problems in experiments with neutrino beam (short and long baseline).
- Methods and problems in neutrino observatories (under ice, under water).
- Technology in future experiments.
- U.H.E. neutrinos.
- $\beta\beta$ decay.
- Direct measurement of the neutrino mass.

Lecturers and Seminar Speakers:

- E. FIORINI - Dipartimento di Fisica "G. Occhialini", Università di Milano-Bicocca (Italy)
F. GATTI - Dipartimento di Fisica, Università di Genova (Italy)
B. KAYSER - Fermilab, Batavia, IL (USA)
D. MAINO - Dipartimento di Fisica, Università di Milano (Italy)
A. MASIERO - Dipartimento di Fisica "G. Galilei", Università di Padova (Italy)
L. OBERAUER - Physik-Department, Technische Universität München, Garching (Germany)
S. PASTOR - IFIC, Instituto de Física Corpuscular, Edificio Institutos de Investigación, Valencia (Spain)
C. PENA GARAY - Instituto de Física Corpuscular, Valencia (Spain)
G. RAFFELT - Max-Planck-Institut für Physik, Werner-Heisenberg-Institut, München (Germany)
G. RANUCCI - INFN, Sezione di Milano (Italy)
M. RIBORDY - Laboratory for High Energy Physics EPFL-SB-IPEP-LPHE, BSP, Cubotron, Lausanne (Switzerland)
G. SIGL - II. Institut für Theoretische Physik, Universität Hamburg (Germany)
M. THOMSON - Department of Physics, Cavendish Laboratory, Rutherford Building, Cambridge (UK)

Director of the Course:

- G. BELLINI - Dipartimento di Fisica, Università di Milano (Italy)

Scientific Secretary:

- L. LUDHOVA - INFN, Sezione di Milano (Italy)

Deadline for application: May 31st, 2011

Correspondence and application forms should be sent to:

L. LUDHOVA
Dipartimento di Fisica, Università di Milano
Via Celoria 16, 20133 MILANO (Italy)
Tel.: +39-02-50317394, Fax: +39-02-50317617
isapp2011@mi.infn.it

Opening of the Course: Tuesday, July 26, 2011 – 9.00 a.m.

Closing of the Course: Friday, August 5, 2011 – 12.30 a.m.

Participation fee (ISAPP-SIF):

€1.000,00 (for attendance, full board, lodging and Proceedings)

GENERAL INFORMATION

- A) – In addition to the official lectures, some seminars on related subjects will be held by visiting scientists¹.
- B) – The scientific organization and direction of the Course are entrusted to the Directors.
- C) – The number of students at each Course is limited to about 60. Students are requested to attend all lectures and seminars.
- D) – Whoever may be interested in attending the Course and is not entitled - for his age or other reasons - to be considered a student, may follow the Course as observer. *Registration fee charged to observers is €500,00*². Observers should provide for their board and lodging; if required, the School may take care of their hotel accommodation.
- E) – Applicants will be informed of the decision on their admittance within 30 days from the beginning of each Course³.
- F) – Owing to the limited number of places available in the lecture hall, it will not be possible to allow any person not selected by the Committee of the School to follow the Courses.
- G) – Students are requested to arrive at Varenna the day preceding the opening of the Course, *i.e. respectively on Sunday, June 19th (1st Course), Monday, June 27th (2nd Course), Monday, July 11th (3rd Course), Monday, July 25th (4th Course)*. Accommodation for the students will be provided in rooms with 2 beds in hotels at Varenna. Meals will be served at the hotels.
- H) – Fees should be paid by students and observers *following the instruction and within the date indicated in the letter of admittance*.
- I) – Scholarships may be granted to deserving students who need financial help. Such requests must be specified in the application and justified in the recommendation letter⁴. Scholarships will be assigned by the President of the Italian Physical Society.
- J) – Students should avoid being accompanied by relatives. In view of the holiday season local accommodation is very limited. Quite exceptionally the School could see to the accommodation of members of students' families in local hotels. Hotel expenditure for students' relatives will be payable separately and directly to the hotel management.

The President
Società Italiana di Fisica
LUISA CIFARELLI

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
Via Saragozza 12
40123 BOLOGNA, Italy
Tel.: ++39-051-331554 — Fax: ++30-051-581340
sif@sif.it — www.sif.it

¹For COURSE CLXXXII the seminars will be decided later.

²For COURSE CLXXXII observers will be charged €200,00 as registration fee.

³For COURSE CLXXXII the list of accepted students will be posted on the School website just after the payment of the registration fee, since priority will be assigned according to the registration date.

⁴For COURSE CLXXXII a CV of the applicant with the list of publications is needed instead of the recommendation letter, together with the e-mail address of a scientist to whom we can ask information about the applicant.

INTERNATIONAL SCHOOL OF PHYSICS "ENRICO FERMI"

APPLICATION FORM

COURSE CLXXIX "Laser-Plasma Acceleration"
COURSE CLXXX "Three-dimensional Partonic Structure of the Nucleon"
COURSE CLXXXI "Microscopy Applied to Biophotonics"
COURSE CLXXXII "Neutrino Physics and Astrophysics"

To be sent to:

COURSE CLXXIX

R. FACCINI
Dipartimento di Fisica
Sapienza Università di Roma
Piazzale A. Moro 5
00185 Roma
(Italy)
Tel.: +39-06-49914798
Fax: +39-06-4957697
varena2011@roma1.infn.it

Deadline:
April 30th, 2011

COURSE CLXXX

D. HASCH
INFN, Laboratori Nazionali
di Frascati
Via E. Fermi 40
00044 Frascati, RM
(Italy)
Tel.: +39-06-94032310
Fax: +39-06-94032559
delia.hasch@lnf.infn.it

Deadline:
May 5th, 2011

COURSE CLXXXI

D. SELISCA
LENS and Dipartimento di Fisica
Università di Firenze
Via N. Carrara 1
50019 Sesto Fiorentino, FI
(Italy)
Tel.: +39-055-4572479
Fax: +39-055-4572520
dansel@lens.unifi.it

Deadline:
May 14th, 2011

COURSE CLXXXII

L. LUDHOVA
Dipartimento di Fisica
Università di Milano
Via Celoria 16
20133 Milano
(Italy)
Tel.: +39-02-50317394
Fax: +39-02-50317617
isapp2011@mi.infn.it

Deadline:
May 31st, 2011

Name and surname _____

Place and date of birth _____

Nationality _____

Male Female

Degree _____

Date and place of acquisition _____

Present activity _____

Affiliation with complete postal address _____

Tel. _____ Fax _____

e-mail _____

Recommended by¹ _____

(enclose a letter of reference from your research group leader or Professor testifying to your qualifications and interest in participating in the Course; enclose also list of publications)

I request student status I request observer status

Date _____ Signature _____

¹For COURSE CLXXXII, instead of the letter of refence, provide the e-mail address of a scientist to whom information concerning your qualifications and activities can be asked and enclose a short CV with the list of your publications.

PASSION FOR LIGHT

JOINT EPS-SIF INTERNATIONAL WORKSHOP

16 SEPTEMBER 2011
VILLA MONASTERO
VARENNA (LAKE COMO)



The European Physical Society (EPS), together with the Italian Physical Society (SIF), will jointly organize in Varenna, Lake Como, Italy, in the beautiful venue of Villa Monastero on Friday, September 16th, 2011, the International Workshop PASSION FOR LIGHT.

This Workshop will provide the right framework to announce the initiative of the Quantum Electronics and Optics Division (QEOD) of the EPS for the declaration of an International Year of Light (IYOL) under the auspices of the United Nations. Likely this will be held in 2014 or 2015. The Division of Laser Science (DLS) and the Committee on International Scientific Affairs (CISA) of the American Physical Society (APS) have already endorsed this proposal that will be first submitted to the International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), then to the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).

PASSION FOR LIGHT will seal the opening of the VARENNA FISICA FESTIVAL, which will encompass for two weeks a large variety of scientific events in the region of Lecco-Merate-Varenna, Italy, for a widespread dissemination of scientific culture on physics and in particular on "light".

PRELIMINARY PROGRAMME

Welcome addresses

Lecture on *Precision*

Theodor Hänsch (Ludwig Maximilians Universität, Munich, Germany)

Lecture on *Synchrotron light*

Francesco Sette (ESRF, Grenoble, France)

Lecture on *Laser manipulation*

Claude Cohen-Tannoudji (Collège de France, Paris, France) [*]

Lecture on *Microscopy*

Alberto Diaspro (Università di Genova & IIT, Italy)

Lecture on *Light and energy*

Diederik Wiersma (LENS-CNR, Firenze, Italy)

Lecture on *Light based detectors*

Werner Hofmann (MPI für Kernphysik, Heidelberg, Germany) [*]

Lecture on *Light from the Universe*

Andrew Jaffe (Imperial College, London, UK) [*]

Lecture on *Pioneers of Light*

[Lecturer to be defined]

Lecture on *Light and art*

Alessandro Farini (INO-CNR, Firenze, Italy)

[*] To be confirmed

Honorary Committee

- * Maria Allegrini (Università di Pisa, Italy)
- * Jocelyn Bell Burnell (University of Oxford, UK)
- * Giorgio Benedek (Università di Milano Bicocca, Italy)
- * Sergio Bertolucci (CERN, Switzerland)
- * Maria L. Calvo (Universidad Complutense de Madrid, Spain)
- * Christopher Dainty (National University of Ireland)
- * Eustace Dereniak (University of Arizona, USA)
- * John Dudley (Université de Franche-Comté, France)
- * Massimo Inguscio (Università di Firenze & LENS, Italy)
- * Maciej Kolwas (University of Warsaw, Poland)
- * Michèle Leduc (Ecole Normale Supérieure, Paris, France)
- * Hervé Lefèvre (Laser Zentrum Hannover, Germany)
- * Luigi Lugiato (Università dell'Insubria, Italy)

- * Luciano Maiani (Università di Roma La Sapienza, Italy)
- * Sergio Martellucci (Università di Roma Tor Vergata, Italy)
- * Wolfgang Sandner (Technische Universität Berlin, Germany)
- * Raffaella Simili (Università di Bologna, Italy)
- * Orazio Svelto (Politecnico di Milano, Italy)
- * Antonino Zichichi (University of Bologna, Italy)

Organising Committee

- * Alessandro Bettini (Università di Padova, Italy)
- * Luisa Cifarelli (Università di Bologna, Italy)
- * Ezio Puppin (Politecnico di Milano, Italy)
- * Giancarlo Righini (IFAC-CNR, Firenze, Italy)

V
A
R
E
N
N
A

F
I
S
I
C
A

F
E
S
T
I
V
A
L





SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
XCVII CONGRESSO NAZIONALE

SEDE CONGRESSO:
FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE FISICHE E NATURALI
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI - L'AQUILA

L'AQUILA 26 - 30 SETTEMBRE 2011



COMUNICAZIONI:
I RIASSUNTI DELLE COMUNICAZIONI DOVRANNO PERVENIRE ALLA SIF ENTRO IL
15 MAGGIO 2011

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA - Via Saragozza 12 - 40123 Bologna
tel. 051331554 - fax 051581340 - e-mail: congresso@sif.it - web: www.sif.it



**XCVII CONGRESSO NAZIONALE
SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
L'Aquila, 26-30 Settembre 2011
INFORMAZIONI GENERALI**

COMUNICAZIONI

I riassunti delle comunicazioni dovranno pervenire alla Società Italiana di Fisica **entro il 15 MAGGIO 2011**, con un massimo di 100 parole, senza figure, indicando la Sezione pertinente, con il nome sottolineato dell'autore che presenterà la comunicazione nonché il suo indirizzo completo per la corrispondenza.

I riassunti potranno essere inseriti direttamente nel nostro database attraverso la pagina web: <http://atticon.sif.it/>

I riassunti potranno essere inviati anche per e-mail (congresso@sif.it), per fax (051-581340) e per posta prioritaria.

LA SOTTOMISSIONE ELETTRONICA È DA CONSIDERARSI PREFERIBILE. SI PREGA DI UTILIZZARE UN SOLO MODO DI SPEDIZIONE.

Verranno pubblicati nel volume degli Atti del Congresso soltanto i riassunti pervenuti entro il termine e conformi alle norme prescritte.

Le comunicazioni accettate saranno presentate oralmente.

ALMENO UNO DEGLI AUTORI DELLA COMUNICAZIONE, POSSIBILMENTE IL PRESENTATORE, DEVE ESSERE SOCIO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA.

SEZIONI

- SEZIONE 1: Fisica nucleare e subnucleare
- SEZIONE 2: Fisica della materia
- SEZIONE 3: Fisica astroparticellare, astrofisica e cosmologia
- SEZIONE 4a: Geofisica e fisica dell'ambiente
- SEZIONE 4b: Biofisica e fisica medica
- SEZIONE 5a: Fisica applicata
- SEZIONE 5b: Fisica per i beni culturali
- SEZIONE 6: Fisica generale, didattica e storia della fisica

PREMI PER LE MIGLIORI COMUNICAZIONI

In occasione della Cerimonia Conclusiva del Congresso verranno annunciate le migliori comunicazioni di ciascuna Sezione. Per i vincitori sono previsti premi e la pubblicazione su *Il Nuovo Cimento*.

ISCRIZIONE AL CONGRESSO

Quote di iscrizione al Congresso per i Soci (*)		
	Preiscrizione	Iscrizione
Socio Ordinario	€ 65,00	€ 75,00
Socio Junior (under 30)	€ 50,00	€ 60,00
Socio Invitato	€ 50,00	€ 60,00

(*) Per i Relatori su Invito si applica la stessa quota dei Soci Ordinari

Quote di iscrizione al Congresso per i non Soci		
	Preiscrizione	Iscrizione
Partecipante Ordinario	€ 135,00	€ 150,00
Partecipante Junior (under 30)	€ 110,00	€ 120,00

Contestualmente alla preiscrizione (o iscrizione) al Congresso è possibile rinnovare la propria associazione alla SIF o chiedere di diventare Socio SIF al fine di poter usufruire dei previsti sconti.

Per associarsi alla SIF: <http://www.sif.it/SIF/it/portal/associazione>

Sarà possibile preiscriversi al Congresso fino al 15 Settembre 2011 alla pagina web:

<http://www.sif.it/> nella sezione "Attività - Congresso Nazionale".

PER PARTECIPARE AI LAVORI CONGRESSUALI È NECESSARIO ESSERE MUNITI DI TARGHETTA NOMINATIVA CHE ATTESTI L'AVVENUTA ISCRIZIONE AL CONGRESSO.

SEDE DEL CONGRESSO

Il Congresso si svolgerà presso il Dipartimento di Fisica, Facoltà di Scienze MM.FF.NN., Università degli Studi dell'Aquila, Via Vetoio 10, Locatità Coppito, 67100 L'Aquila.

PRENOTAZIONE ALBERGHIERA

Le prenotazioni potranno essere effettuate tramite:

S.B.S. DI MIRELLA BRICCA

Via Montereale 2 - 67100 L'Aquila

Cell: +39 330-933330

e-mail: bricca@briccaevents.it

La scheda di prenotazione alberghiera viene allegata qui a fianco.

SCHEDA DI PRENOTAZIONE ALBERGHIERA
XCVII Congresso Nazionale SIF
L'Aquila, 26-30 Settembre 2011

(compilabile online alla pagina: <http://www.sif.it/> nella sezione "Attività - Congresso Nazionale")

DA INVIARE ENTRO IL 30 AGOSTO 2011 A:

(Oltre questa data andremo a confermare la camera su singola richiesta)

S.B.S. di Mirella Bricca
Via Montereale, 2 • 67100 L'Aquila
Cell: +39 330-933330
e-mail: bricca@briccaevents.it

Cognome _____ Nome _____

Indirizzo _____

CAP _____ Città _____ Prov. _____

Telefono _____ Fax _____

Cellulare _____ e-mail _____

Codice Fiscale o Partita IVA _____

Dati per la fatturazione (da compilare solo se diversi dai dati anagrafici):

Ragione sociale _____

Indirizzo fiscale _____

CAP _____ Città _____ Prov. _____

Codice Fiscale o Partita IVA _____

Elenco Hotel (Trattamento di B&B)

Hotel	Località	Doppia uso Singola	Doppia
CANADIAN ***	L'Aquila	€ 80,00	€ 90,00
AMITERNUM ***	L'Aquila	€ 80,00	€ 90,00
AZZURRO ***	L'Aquila	€ 80,00	€ 100,00
CASTELLO ***	L'Aquila	€ 95,00	€ 112,00
PORTA RIVERA **	L'Aquila	€ 50,00	€ 70,00
DUCA DEGLI ABRUZZI ***	L'Aquila	€ 80,00	€ 94,00
SAN MICHELE ***	L'Aquila	€ 80,00	€ 100,00
MAGIONE PAPAIE ****	L'Aquila	€ 100,00	€ 120,00

Hotel	Località	Singola	Doppia	Tripla	Quadrupla
LA POSTA ***	Poggio Picenze	€ 40,00	€ 70,00	€ 81,00	€ 88,00

L'importo indicato si riferisce a pernottamento in trattamento di B&B ed al netto di diritti di agenzia che sono pari a € 10,00 (IVA inclusa).

Il pagamento del deposito prima notte a garanzia della prenotazione verrà prelevato dalla carta di credito del richiedente dall'albergo prescelto, mentre il diritto di agenzia pari a € 10,00 (IVA inclusa) deve essere corrisposto alla richiesta della prenotazione e saldato con pagamento a mezzo carta di credito.

Le prenotazioni effettuate tramite agenzia usufruiranno del servizio navetta da e per hotel - sede congresso.

Prenotazione

HOTEL PRESCELTO _____

SISTEMAZIONE IN CAMERA Doppia uso singola Singola Doppia Tripla Quadrupla

DIVIDO LA CAMERA CON _____

DATA ARRIVO _____/_____/_____

DATA PARTENZA _____/_____/_____

Modalità di pagamento

Il pagamento del deposito prima notte a garanzia (hotel prescelto) verrà addebitato sulla seguente carta di credito:

CARTA DI CREDITO Visa Mastercard

NUMERO CARTA DI CREDITO _____

NOMINATIVO TITOLARE _____

DATA DI SCADENZA _____

CODICE DI SICUREZZA (ultime 3 cifre sul retro della carta) _____

Condizioni di pagamento, cancellazione e rimborso

Rimborsi previsti:

- Entro il 30 Agosto 2011: rimborso del 100%
- Entro il 10 Settembre 2011: rimborso del 50%
- Dopo il 10 Settembre 2011: nessun rimborso

N.B. I diritti di agenzia non saranno rimborsati.

Il costo totale delle notti (ad esclusione del deposito) verrà saldato in hotel.

Ogni cambiamento, variazione, cancellazione di camera dovrà essere comunicato per iscritto a **bricca@briccaevents.it**. In caso di mancato arrivo senza preavviso il deposito non sarà restituito e saranno addebitate il totale delle notti richieste.

Le disponibilità di hotel e di tipologia camere indicate nello specchietto non sono garantite dopo il 30 Agosto, sebbene S.B.S. cercherà di fornire la massima assistenza sulla base delle richieste pervenute.

Si raccomanda di prenotare la camera il prima possibile vista la **criticità della logistica a L'Aquila**.

Ai sensi e per gli effetti degli art. 10, 11 e segg. della legge sulla riservatezza dei dati personali (L. 675/96 legge sulla privacy) si informa che i dati personali rilasciati compilando il presente modulo, saranno utilizzati per costituire una banca dati interna all'attività svolta dalla ditta S.B.S. di Mirella Bricca. Tali dati saranno trattati soltanto ai fini dell'organizzazione dello specifico evento al quale si sta iscrivendo. Tutte le comunicazioni saranno pertanto esclusivamente pertinenti. I dati personali non saranno per nessuna ragione diffusi all'esterno. Gli iscritti hanno il diritto di ricevere informazioni riguardo ai dati registrati e di richiederne la cancellazione, questo può in taluni casi annullare i diritti/vantaggi derivati dalla registrazione degli stessi. Spuntando la casella in basso si conferma di aver letto e preso visione, e si autorizza ad utilizzare i dati in conformità a quanto sopra indicato.

Ho letto e accetto le condizioni sulla privacy.

DATA _____ FIRMA _____



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Premio “Enrico Fermi”

La Società Italiana di Fisica bandisce per l'anno 2011 un Premio di €30.000,00 (euro trentamila) che verrà attribuito a un Socio che abbia particolarmente onorato la Fisica Italiana con le sue scoperte.

Il Premio verrà consegnato nella seduta inaugurale del XCVII Congresso Nazionale della SIF che si terrà a L'Aquila il 26 settembre 2011 su proposta di una Commissione costituita da:

- il Presidente della Società Italiana di Fisica, che presiederà la Commissione
- un Membro designato dall'Accademia Nazionale dei Lincei
- un Membro designato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
- un Membro designato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica
- un Membro designato dal Museo Storico della Fisica e Centro Studi e Ricerche “Enrico Fermi”
- un Membro designato dal Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica.

Ogni Socio può formulare proposte motivate indirizzandole *entro il 15 giugno 2011* al Presidente della Società Italiana di Fisica. Ogni proposta completa della relativa documentazione deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/premio_fermi e dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.fermi@sif.it *entro il 15 giugno 2011*.

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

VIA SARAGOZZA 12
40123 BOLOGNA
TEL 051-331554 - FAX 051-581340
sif@sif.it - <http://www.sif.it/>

BOLOGNA, MARZO 2011

IL PRESIDENTE DELLA SIF
LUISA CIFARELLI



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

IOP Institute of Physics

Premio “Giuseppe Occhialini”

Per onorare la memoria di Giuseppe Occhialini, l'Institute of Physics (IOP), insieme alla Società Italiana di Fisica (SIF), bandisce un Premio per un fisico operante principalmente in Gran Bretagna o Irlanda che si sia distinto per un risultato significativo ottenuto nell'ambito di ricerche in Fisica condotte entro gli ultimi 10 anni.

Il Premio è stato congiuntamente istituito dalle due Società in occasione del centenario della nascita di Giuseppe Occhialini allo scopo di commemorare la figura dell'insigne scienziato e di consolidare le relazioni tra le due Società. Il premio sarà conferito annualmente e sarà alternativamente bandito dall'una o dall'altra Società.

Per il 2011 le norme di partecipazione al concorso al Premio sono reperibili presso <http://www.iop.org/about/awards/index.html> alla sezione “International Bilateral Awards”.

Il vincitore sarà scelto dal Consiglio della SIF, a partire da una rosa di non più di tre candidati indicati dal Consiglio dell'IOP. Il giudizio di entrambi i Consigli è insindacabile.

Il vincitore del Premio sarà proclamato in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, nel periodo 26-30 Settembre 2011. Al vincitore sarà conferito il Premio di € 3.000,00, insieme a un diploma e una medaglia d'argento.

“Giuseppe Occhialini” Prize

To honor the memory of Giuseppe Occhialini the Institute of Physics (IOP) together with the Italian Physical Society (SIF) awards a prize for a physicist based in the UK or Ireland in recognition of distinguished work in physics research carried out within the past 10 years.

The prize has been promoted jointly by the two Societies on occasion of the Centenary of the birth of Giuseppe Occhialini with the aim to commemorate the eminent scientist as well as to strengthen the relationship between the two Societies. The prize will be awarded on an annual basis and will be alternatively announced by the SIF and IOP, respectively.

For the year 2011 the terms and eligibility are available at the web page <http://www.iop.org/about/awards/index.html> in the section “International Bilateral Awards”.

The winner will be selected by the SIF Council from a list of no more than three finalists proposed by the IOP Council from amongst the applicants. The decision of both Councils is final.

The name of the winner will be publicly announced on occasion of the next XCVII National Congress of the Italian Physical Society, to be held in L'Aquila on 26-30 September 2011. The Prize of € 3,000.00, a silver medal and a certificate shall be awarded to the winner.

IL PRESIDENTE DELLA SIF
LUISA CIFARELLI
SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
VIA SARAGOZZA 12
40123 BOLOGNA
Italy
TEL +39 051-331554 - FAX +39 051-581340
sif@sif.it - <http://www.sif.it/>

BOLOGNA, MARZO 2011

IOP PRESIDENT
JOCELYN BELL BURNELL
INSTITUTE OF PHYSICS
76 PORTLAND PLACE
LONDON W1B 1NT
UK

TEL +44 (0)20 74704800 - FAX +44 (0)20 74704848
physics@iop.org - <http://www.iop.org/>



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

PREMI

“Pietro Blaserna” “Antonio Roiti” “Augusto Righi”
“Angelo Battelli” “Vito Volterra” “Michele Cantone”
“Antonio Garbasso” “Orso Mario Corbino” “Quirino Majorana”
“Giovanni Polvani” “Gilberto Bernardini” “Carlo Castagnoli”
“Giuseppe Franco Bassani”

PER GIOVANI LAUREATI IN FISICA

Concorso a premi per la Fisica riservati ai dottori in Fisica laureatissimi dopo il maggio 2008.

Concorso a premi per la Fisica riservati ai dottori in Fisica laureatissimi dopo il maggio 2004.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di € 1.000,00 (euro mille) e diploma, da assegnare a giovani cultori della ricerca fisica.

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso ad almeno un premio di € 2.000,00 (euro duemila) e diploma, da assegnare a cultori della ricerca fisica. Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Al concorso sono ammessi i Soci della Società Italiana di Fisica che abbiano fatto pervenire la quota sociale per l'anno 2011 entro il 15 giugno 2011 (*) e che abbiano conseguito dopo il maggio 2008 la laurea quadriennale oppure la laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana.

1) Al concorso sono ammessi i Soci della Società Italiana di Fisica che abbiano fatto pervenire la quota sociale per l'anno 2011 entro il 15 giugno 2011 (*) e che abbiano conseguito dopo il maggio 2004 la laurea quadriennale oppure la laurea specialistica/magistrale in Fisica presso una Università italiana.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/giovanilaureati. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.maggio08@sif.it entro il 15 giugno 2011.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/giovanilaureati. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.maggio04@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:

- a) il curriculum degli studi universitari, rilasciato dall'Università dove si è laureato, comprovante le votazioni ottenute e la data del conseguimento della laurea;
- b) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
- c) l'elenco delle pubblicazioni;
- d) una lettera di presentazione;
- e) ogni altro documento che ritenga utile ai fini del Concorso stesso.

- a) il curriculum degli studi universitari, rilasciato dall'Università dove si è laureato, comprovante le votazioni ottenute e la data del conseguimento della laurea;
- b) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
- c) l'elenco delle pubblicazioni;
- d) una lettera di presentazione;
- e) ogni altro documento che ritenga utile ai fini del Concorso stesso.

4) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. La decisione del Consiglio è inappellabile.

4) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. La decisione del Consiglio è inappellabile.

5) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

5) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

(*) *Eccetto per i Soci Invitati*



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Premio “Pietro Bassi”

Per onorare la memoria del Professor Pietro Bassi, la Società Italiana di Fisica, grazie al contributo della famiglia, attribuisce ogni tre anni un premio per un giovane che abbia lavorato nel campo sperimentale della Fisica Nucleare fondamentale dell'importo di € 2.000,00 (euro duemila).

Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2011 sono le seguenti:

1) Ogni Socio può formulare per iscritto candidature tra giovani fisici Soci della Società Italiana di Fisica.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_bassi. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.bassi@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:

- a) il curriculum vitae et studiorum;
- b) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
- c) l'elenco delle pubblicazioni;
- d) lettere di presentazione di 1-3 referees;
- e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al Concorso.

5) Il vincitore sarà scelto da una Commissione scientifica nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

6) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

Borsa “Ettore Pancini”

Per onorare la memoria del Professor Ettore Pancini, la Società Italiana di Fisica, grazie al contributo del Dottor Roberto Mazzola, attribuisce ogni anno una borsa di € 5.000,00 (euro cinquemila) destinata a un giovane ricercatore che abbia ottenuto un risultato significativo nell'ambito delle sue ricerche sperimentali in Fisica Nucleare o Subnucleare.

Le norme di partecipazione al Concorso per l'anno 2011 sono le seguenti:

1) Sono ammessi al Concorso i laureati in Fisica (in possesso di una laurea quadriennale oppure una laurea specialistica/magistrale) di età non superiore ai 35 anni.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_pancini. Ogni domanda completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo borsa.pancini@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:

- a) il curriculum vitae et studiorum;
- b) una breve relazione scientifica illustrante l'attività di ricerca svolta;
- c) l'elenco delle pubblicazioni;
- d) lettere di presentazione di 1-3 referees;
- e) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al Concorso.

5) Il vincitore sarà scelto da una Commissione scientifica nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

6) La borsa verrà conferita in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Premio “Guglielmo Marconi”

Per promuovere il trasferimento tecnologico delle ricerche in Fisica, la Società Italiana di Fisica bandisce, per l'anno 2011, un Concorso per l'assegnazione di un premio dell'importo di € 2.000,00 (euro duemila).

Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Il premio verrà assegnato a un laureato in Fisica (in possesso di una laurea quadriennale o di una laurea specialistica/magistrale) che negli ultimi cinque anni abbia conseguito o promosso, con le sue ricerche, un'importante applicazione industriale.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_marconi. Ogni domanda (o proposta) completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.marconi@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitae et studiorum;
b) una relazione che illustri le attività di ricerca e relative applicazioni industriali prodotte o promosse dal candidato;
c) lettere di sostegno di 1-3 referees;
d) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate, a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il 15 giugno 2011 al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al Concorso.

6) Il vincitore sarà scelto da una Commissione nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

7) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

Premio per l'Outreach

Per promuovere la diffusione delle conoscenze di Fisica e la crescita della cultura scientifica del Paese, la Società Italiana di Fisica bandisce, per l'anno 2011, un Concorso per l'assegnazione di un premio dell'importo di € 2.000,00 (euro duemila).

Le norme di partecipazione al Concorso sono le seguenti:

1) Il premio verrà assegnato a un laureato in Fisica (in possesso di una laurea quadriennale o di una laurea specialistica/magistrale) che negli ultimi cinque anni abbia effettuato o promosso un'importante attività di diffusione della cultura scientifica.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/bando_outreach. Ogni domanda (o proposta) completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.outreach@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitae et studiorum;
b) una relazione che illustri le attività di diffusione della cultura scientifica prodotte o promosse dal candidato;
c) lettere di sostegno di 1-3 referees;
d) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate, a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il 15 giugno 2011 al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) Il ritardo nella presentazione o nell'arrivo della domanda con la relativa documentazione, qualunque ne sia la causa, anche non imputabile al candidato, comporterà l'inammissibilità dell'aspirante al Concorso.

6) Il vincitore sarà scelto da una Commissione nominata dal Consiglio di Presidenza della SIF. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

7) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

Premio per la Didattica o la Storia della Fisica

La Società Italiana di Fisica bandisce un Concorso per un premio di € 3.000,00 (euro tremila) con diploma, aperto a tutti i cultori o gruppi di cultori di Fisica, per realizzazioni didattiche nel campo della Fisica (libri, articoli, esperimenti, apparati sperimentali, ecc.) o per contributi in storia della Fisica.

1) Le realizzazioni o i contributi devono presentare un particolare interesse o per l'originalità della concezione e dell'esecuzione o per la novità degli argomenti trattati.

2) La domanda di ammissione al Concorso, recante le generalità, il recapito e il codice fiscale del concorrente, deve essere effettuata per le vie telematiche utilizzando l'apposito modulo scaricabile da http://www.sif.it/SIF/it/portal/attivita/altri_premi/didattica_storia. Ogni domanda (o proposta) completa della relativa documentazione dovrà pervenire per posta elettronica all'indirizzo premio.didattica_storia@sif.it entro il 15 giugno 2011.

3) Alla domanda il concorrente dovrà unire, sempre per le vie telematiche, i seguenti documenti:
a) il curriculum vitae et studiorum;
b) una relazione che illustri le realizzazioni effettuate dal candidato nel campo della didattica della Fisica oppure che illustri il lavoro di storia della Fisica che intende presentare al Concorso;
c) lettere di presentazione di 1-3 referees;
d) ogni altro documento ritenuto utile ai fini del Concorso stesso.

4) Oltre alle autocandidature, saranno anche prese in esame proposte motivate a favore di terzi, formulate come specificato al punto 2) da un Socio SIF e inviate entro il 15 giugno 2011 al Presidente della Società Italiana di Fisica.

5) Il Consiglio di Presidenza della Società Italiana di Fisica attribuirà il relativo premio. Il Consiglio può prendere in considerazione anche realizzazioni di didattica o contributi di storia della Fisica che giudichi meritevoli del premio, ma i cui autori non abbiano fatto domanda di partecipazione (o non siano stati proposti). La decisione del Consiglio è inappellabile.

6) Il premio verrà conferito in occasione del prossimo XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica che si terrà a L'Aquila, 26-30 Settembre 2011.

POLISH PHYSICAL SOCIETY: BRIEF OVERVIEW

WIESŁAW A. KAMIŃSKI

Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poland



Science on Stage.

The Polish Physical Society (PPS) celebrated last year the ninetieth anniversary of its foundation on 11 April 1920 when Poland regained independence after over 120-year deprivation of State existence. Then eminent physicists from Warsaw, Cracow, Poznan, Lvov and Vilna gathered at Warsaw Technical University undertook this task being fully aware of its significance. The first President of the Society, Prof. Władysław Natanson¹, at the first meeting said that the Society aim was "[...] to serve our Nation fervently and loyally [...] promoting its progress and God willing, the nation prosperity [...], perform our duties for the future generations". The Polish Physical Society has been engaged in the actions contributing to the successful development of the Country aiming at the integration of the Polish physicists environment and researches in the field of physics for ninety years during the difficult period of Poland in the twentieth century – creation of the framework of a reborn state and the interwar period –, during the turmoil of World War II as well as in the later period of Soviet domination. At present the Polish Physical Society with its 1000 members does its best to accomplish its commitment.

According to the Society Constitution, the aim of the Polish Physical Society is the dissemination of physics and related sciences as well as the development of general physics knowledge in the society and advancement of physics in Poland. Of no less importance is the development of relationships among the physicists employed in education, as scientists and in various fields of industry, as well as the representation of the physicists' environment before the Government and other public and private organizations both at the national level and abroad. This indicates that the

Society supports organizations of physical studies, their costs as well as their dissemination. It carries out a publication activity in the field of physics and its applications and supports the educational activity related to physics teaching at all school levels and the popularization of its achievements.

The Society has always had a regional structure based on the activities of their division. At present it includes 19 regional divisions possessing full self-government as far as the merits are concerned. Within the PPS there are 11 committees, among the others, the Commissions for the teaching of physics in the schools and in higher education institutions, for the popularization and promotion of physics in collaboration with foreign institutions as well as the Commission for accomplishing great research projects.

The members of the Society are organized in divisions which aim to develop common activities in individual areas of physics such as optics, physical education and physics in economics and share common interests, for instance related to women in physics, young physicists and social science topical groups and forums. The Society divisions organize lectures and talks to disseminate physics and related sciences. Of significant interest are the activities combining common undertakings of researchers and creative environments: artists, painters, poets, writers and musicians inspired by common subjects of reflection, *e.g.* on the creation inspiration, the light issue in physics and painting, the relation between physics and musics etc. And, last but not least, the acquisition of worldwide achievements in physics and the development of its technical language in the contemporary lingua franca, *i.e.* the English language, has required the introduction of equivalent terms in the Polish language. This task is undertaken by the Committee for Physical Terminology.

The activity devoted to children in school is impressive. An example is the Lublin division (Eastern Poland), where demonstrations in physics showing impressive physical

¹ Professor of theoretical physics at the Jagiellonian University, he proposed in 1911 new statistics for identical particles, re-stated by Jagadish Chandra Bose for the energy quanta and by Albert Einstein for gas molecules.



Fig. 1 and 2 Demonstrations of Physics experiments organized in classrooms to attract young students to physics.

phenomena and laws have been organized for half a century and attended by over twenty thousand pupils (see fig. 1, 2). Cyclic workshops “Summer with Helium” organized by the Poznan environment (Western Poland) get young people familiar with the physics of low temperatures. Various competitions and tournaments for young physicists and for junior and senior secondary school pupils (“Familiar with Einstein”, “Girls to Study at Technical Universities”, “Peculiarity of the Physics World”, “The Years with Physics Before the Secondary School Final Exams”, “You Can Like Physics”, “Take a Picture of the Experiment”, “Discover the Unknown – Create the New”) aim at arousing the interest in and attracting young people to physics. It is estimated that about forty thousand pupils took part in the various initiatives for the popularization of physics undertaken by the Society.

The Olympiads in Physics which have been organized under the auspices of the PPS for 60 years have a similar aim. This is the oldest competition in physics whose winners later have become eminent Polish physicists. For forty years, that is from the very beginning, Polish teams have taken part in the International Olympiads in Physics with great success. A competition complementary to the Olympiads in Physics is the Tournament of Young Physicists, a team competition organized under the auspices of the Society since 1995. The Polish teams also take part in its international stage. All these activities are of significant importance in coping with the drop of interest in physics by the young generation which manifests itself in their not choosing physics as the subject of the school final exam and in not enrolling for physics studies.

Another activity of the Society is to organize conferences and meetings (fig. 3). The Meetings of Polish Physicists are organized in different centres every other year. The last one, which was the fortieth, was held in Cracow in 2009 and the next one will be held in Lublin this year. The Meeting as the

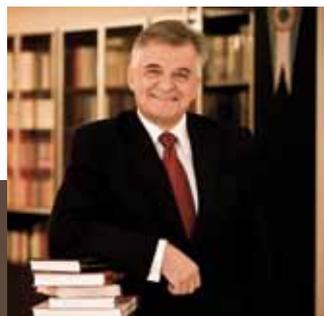
greatest national forum is considered to be an occasion for presenting the latest achievements in physics during plenary and specialist sessions as well as during workshops, presentations of books and display of apparatuses and teaching aids. Also panel discussions are organized on topical issues, for example prospects of energy supply in the Country, the role of physics in the development of the civilization, the ranking of Polish physics. The tradition is to invite Nobel Prize winners as well as outstanding Polish physicists working abroad to participate in the meetings. The issues connected with physics teaching both in the schools and universities are a very important aspect of the conferences. The Society also co-organizes topical conferences. Some examples of such conferences held during the last two years are: the International Conference on Physics Teaching in Engineering Education, Festivals of Science and Art, the Informal Physical Societies Exchange Conference, the National Econo- and Sociophysics Symposium, the International Conference on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents, the Polish Optics Conference, and the International Conference of the EPS High Energies Divisions.

International collaborations of the Society are based on bilateral agreements with the following Physical Societies: American, German, Hungarian, Japanese, Slovakian, Lithuanian, Ukrainian, Italian, Belarusian and Chinese (Taiwan) as well as with the Physical Division of the Czech Mathematicians and Physicists Union, the United Physical Society of the Russian Federation and the British Institute of Physics (Institute of Physics, London). We are also the first associate member of the electronic journal *New Journal of Physics* co-edited by IOP (Institute of Physics) and DPG (Deutsche Physikalische Gesellschaft).

The oldest physics journal created just after the foundation of the Polish Physical Society in 1920 is *Acta Physica Polonica*,



Fig. 3 Meeting of the Polish Physical Society in Warsaw, 2005.



Wiesław A. Kamiński

Wiesław Andrzej Kamiński is Professor Ordinarius at the Maria Curie-Skłodowska University in Lublin. His specialty fields are exotic nuclear reactions, *e.g.* double-beta decay and neutrino physics. Moreover, he also carried out researches on artificial intelligence and complex system dynamics. He published 4 books and over 140 innovative academic studies on physics, information technology, and history of science and physics. He lectured abroad in Finland, France, Greece and Germany. He has been Rector of the UMCS, President of the Polish Physical Society, and a member of the governmental Scientific Policy Committee. He received the Knight's Cross of the Order of Polonia Restituta and the Holy Cross Pro Ecclesia et Pontifice.

series A and B. This scientific journal publishing original papers in physics, is indexed in the ISI Web of Knowledge. We have also the patronage of 3 journals for students: "Delta" devoted to mathematics, physics and computer science, "Neutrino" on physical subjects for junior students and "Foton" for senior pupils and university students. The periodical "Physics and Nature" is available for teachers online at the Society website.

Major achievements in various fields of activity are awarded with medals and prizes by the Society. The most prestigious prize is the Smoluchowski Medal² that is awarded to a candidate independently of his nationality for contributing to the development of at least one of the physical areas in Poland and for attainments relevant to physics development in Poland. Outstanding achievements in theoretical physics are awarded with the Rubinowicz Prize³. The best master theses in physics prepared in Poland receive the Piekara⁴ Award. The prizes for popularization of physics as well as for distinguished educational activities for teachers are called

² The relations between thermodynamics and kinetic theory of gases were largely explained by a professor of physics at the Jan Kazimierz University in Lvov and also Rector of the Jagiellonian University: the theoretician Marian Smoluchowski (1872-1917). Smoluchowski's explanation of the Brownian motion was given independently of Einstein's.

³ The theoretician, Adalbert Rubinowicz (1889-1974), who after World War II was professor at Warsaw University, was the co-creator of the Warsaw Physics Centre. He formulated the so-called selection rules, the fundamental laws of atomic radiation theory and radiation-matter interaction. He considerably but indirectly, contributed to the idea of optical pumping, which was emphasized by Alfred Kastler in his Nobel lecture in 1966.

⁴ Arkadiusz Piekara (1904-1989), the discoverer of the opposite non-linear dielectric effect.

after eminent members of our Society who died not long ago: Ernst⁵ and Białkowski⁶. A prize jointly promoted by the German Physical Society and the Polish Physical Society, the Warburg-Smoluchowski Award (diploma, medal and cash prize funded by the Meyer-Viol Foundation) is given for outstanding contributions to pure and applied physics. The winner is chosen between two candidates alternatively nominated by one of the societies and is awarded by the other one. The ceremony of presentation of the prize takes place during the meeting of the Society which gives the prize.

At present 14 members of PPS take part in the works of divisions, committees and groups of the European Physical Society including Prof. Maciej Kolwas who was elected President of EPS for the period 2009–2011.

The Society Statute is based on the Polish law about associations and is aimed at the public benefit. The formal structure includes the following organs: the Delegates Meeting and the Main Board as well as the President, the Treasurer and the General Secretary. The Delegates for the biannual Meeting are elected in the divisions of the Society with a secret ballot vote procedure before the Meeting which is usually held during the Meeting of Polish Physicists. In previous regulations the officers of the Society were elected by the Delegates Meeting. After the reform of the Statute in 2002, elections of the Board members and the officers take place directly through electronic voting. The present officers are the second group elected in this way.

⁵ Krzysztof Ernst (1949-2003), Professor at Warsaw University.

⁶ Grzegorz Białkowski (1932-1989), Professor and Rector of Warsaw University who was elected senator in the first independent elections after the decay of communism in Poland.

VARENNA: MEMORY AND HISTORY

Accade, qualche volta nella vita, che si torni a visitare un luogo che è rimasto nella nostra memoria in modo alquanto pregnante e spesso legato ad eventi che, per ragioni diverse ma sempre di grande significato, fanno ormai parte della nostra storia personale.

È ciò che è accaduto a Uri Haber-Schaim a Varenna nell'estate scorsa, in visita come turista a Villa Monastero durante il Corso "From the Big-Bang to the Nucleosynthesis" che ho avuto il piacere di inaugurare. Solo che non si trattava di un turista qualsiasi, come constatammo insieme, ma di un fisico che 56 anni prima vi era approdato come partecipante al 2° Corso della Scuola Internazionale di Fisica della SIF (vedi fotogruppo). Si tratta del Corso del 1954 diretto da Gianni Puppi (che del resto aveva già diretto il primo nel 1953) e dedicato allo studio delle particelle elementari e delle loro interazioni. Quello, per intenderci, che vide la partecipazione di Enrico Fermi e che, a memoria di tutti, rimase come un "evento memorabile – sono le stesse parole di Puppi – per una serie di congiunzioni planetarie [...] che ne fecero una summa teologica della fisica dei pioni..." ma soprattutto perché la morte di Fermi, avvenuta pochi mesi dopo, "[...] riverberò su di esso una luce particolare e quando si parla della scuola di Varenna viene in mente il secondo anno ed Enrico Fermi". (Cfr. Celebrazioni del Trentennale della Scuola Internazionale di Fisica, SIF, Editrice Compositori, Bologna, 1984.)

È ciò che deve essere rimasto impresso anche a Haber-Schaim che nella nota qui pubblicata, in un simpatico saggio di memoria,

ritrova i segni di una storia universale, quella della Fisica. Così come la particolare caratteristica di Villa Monastero a Varenna proprio su quel ramo del lago di Como che, con qualche perdonabile ma giustificata presunzione, fu poi da noi chiamato "il lago dei fisici".

Di quella atmosfera quasi unica "ideale per imparare e scambiare idee", torna il ricordo comune così ben espresso del resto nell'introduzione di B.T. Feld (curatore delle Note pubblicate) alle Lezioni di Fermi, le famose "Lectures on Pions and Nucleons". Insieme con lui "we are rewarded by frequently encountering sections which are so unique in their language and approach as to evoke... the picture of Fermi as he lectured during those lovely mornings in the beautiful setting of the Villa Monastero on Lake Como". (Il testo delle Lezioni di Fermi è stato tradotto in italiano e pubblicato nel volume del trentennale della Scuola citato sopra e più recentemente nella versione originale inglese in La Rivista del Nuovo Cimento, 31, n.1 (2008).)

Ricordi piacevoli invero che riportano anche alla abilità di Fermi come "Problem Solver" e un esempio divertente è citato dal nostro amico e che anch'io lascio ai lettori con la scusa di essere più "vecchio del prete".

R. A. Ricci
Presidente Onorario SIF



RECOLLECTIONS OF THE 1954 VARENNA SCHOOL

URI HABER-SCHAIM (*)

16 Agnon Blvd., Jerusalem 93589, Israel

The setting and atmosphere

Considering that more than half a century has passed since that wonderful summer in Varenna, I should try to put the summer course in some perspective. High-Energy Physics was not yet divided into several sub-specialties. The number of laboratories in which work was done in this field was quite small. Coming one year after the Cosmic-Ray conference in Bagnères-de-Bigorre, and a few months after the Padova conference, many participants knew one another personally, not just their papers. In addition, the informality of the senior lecturers and the peaceful setting of the Villa Monastero created ideal conditions for learning and exchanging ideas.

Work and recreation

The summer school was run on a pretty steady schedule in a most friendly and efficient way by G. ("Johnny") Puppi (fig. 1). The main lectures were in two morning sessions and the specialized seminars were in the afternoon. We, the younger participants, were assigned the task of taking notes of the major lectures and presenting some of the special seminars. At least this is how I remember it. The workload was not heavy, and there was plenty of time for shop-talk during the recesses (figs. 2 and 3).

(*) Past President of Science Curriculum Inc., Lakewood, CO, USA, now retired.



Fig. 1 From right to left: G. Puppi, Mrs. Puppi, G. Bernardini, and half of J. Steinberger.



Fig. 2 Shop-talk among participants in the garden.



Fig. 3 Shop-talk. On the right E. Fermi and the author.



Fig. 4 At the football table. Having had their turn, E. Amaldi and the author take part in conversation.



Fig. 5 E. Fermi and other hikers.

It seems that at the Bagnères-de-Bigorre conference elementary-particle physicists developed a passion for Calcetto (table football). This passion manifested itself also in Varenna on many evenings, with staff and participants of all countries playing (fig. 4).

A very special—and in retrospect sad—recreation was an outing into the mountains on one weekend (fig. 5). Although some of us knew that Fermi did not feel well, it never crossed my mind that this would be his last hike.

Fermi: The problem solver

Fermi's ability to solve physics problems is well known, and many examples can be found in the literature. But as he demonstrated in Varenna, this ability was not limited to physics problems.

I do not remember how it started, but during a morning recess a group of participants was standing around talking when A. Rogozinsky, a participant from France, posed the following problem:

A priest and a sexton took a walk. They saw three persons coming toward them. The sexton asked: "How old are these persons?"

The priest answered: "The product of their ages is 2450 and the sum of their ages is twice your age."

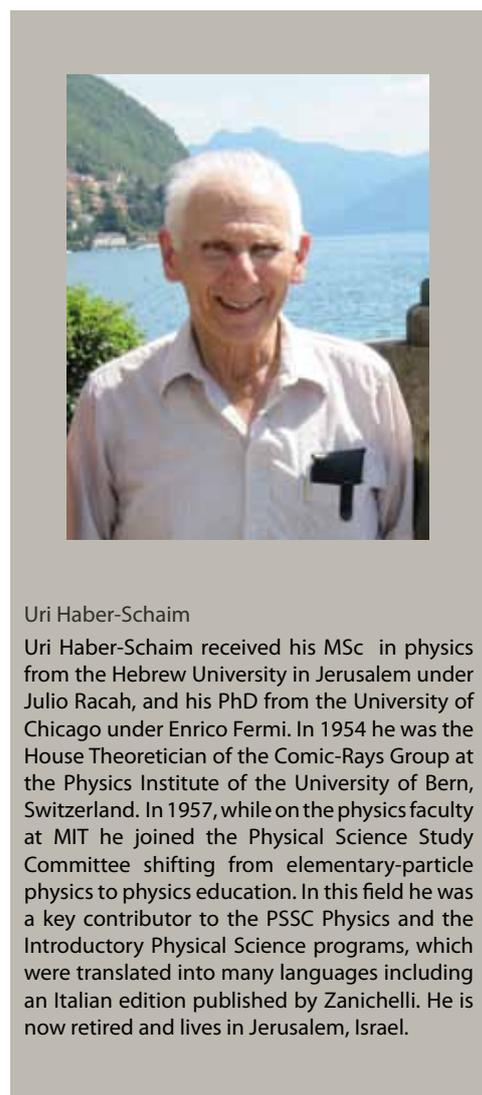
The sexton thought for a minute and said: "I need more information."

The priest replied: "You are right. I am older than any of them."

Upon which the sexton gave the ages of the three persons. The question is: What are the ages of the three persons, the priest and the sexton.

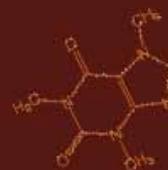
All of us present realized right away that setting up equations will not get us anywhere. But we missed the key to the solution. I suggested to Rogozinsky that he present the problem at lunch so that the whole group can hear it. He did. As soon as he finished, we heard Fermi's voice: "Now let me see [...]" He explained what the key point is and proceeded to solve the problem within a minute.

Well, what are the ages of all the five persons?



Uri Haber-Schaim

Uri Haber-Schaim received his MSc in physics from the Hebrew University in Jerusalem under Julio Rcah, and his PhD from the University of Chicago under Enrico Fermi. In 1954 he was the House Theoretician of the Cosmic-Rays Group at the Physics Institute of the University of Bern, Switzerland. In 1957, while on the physics faculty at MIT he joined the Physical Science Study Committee shifting from elementary-particle physics to physics education. In this field he was a key contributor to the PSSC Physics and the Introductory Physical Science programs, which were translated into many languages including an Italian edition published by Zanichelli. He is now retired and lives in Jerusalem, Israel.



STASERA USCIAMO: COSA DANNO AL CAFFÈ-SCIENZA? (*)

PAOLO POLITI¹, FRANCO BAGNOLI²

¹ *Istituto dei Sistemi Complessi, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Sesto Fiorentino, Firenze, Italia*

² *Dipartimento di Energetica e CSDC, Università di Firenze, Firenze, Italia*

Cosa fare questa sera? Se optiamo per restare in casa abbiamo la scelta tra televisione, libri e internet. Il livello dei programmi televisivi è in genere basso [1], a meno di non avere accesso a canali satellitari. I libri e internet ovviamente possono fornire informazioni interessanti e di buon livello e sono in effetti una buona scelta, ma sono un piacere un po' solitario, talvolta abbiamo bisogno di altro. Apriamo dunque un quotidiano qualunque e cerchiamo nella sezione "Cosa fare questa sera". Troviamo sicuramente cinema, teatro e danza, forse una conferenza sulla crisi economica o, se siamo fortunati, su Wikileaks; possiamo trovare anche un incontro con uno scrittore che presenta il suo ultimo libro e, raramente ma può accadere, una conferenza di divulgazione scientifica.

Eppure la scienza e la tecnologia interessano il grande pubblico, a giudicare dal successo dei vari festival e delle manifestazioni tipo "laboratori porte aperte" (per non parlare di alcune trasmissioni televisive), ma quando si passa dall'aspetto divulgativo o ludico (quest'ultimo quasi unicamente per i bambini) all'approfondimento non c'è né offerta né, parrebbe, interesse. Sembra quindi che la scienza abbia poco a che fare con la cultura e sicuramente niente a che fare con le proposte per passare una serata piacevole in compagnia, a meno di non banalizzarla e renderla "mistero" e magia.

Proviamo però a pensare se nella stessa sezione del giornale trovassimo una multisala che propone in contemporanea "Dimostrazione dell'ultimo teorema di Fermat", "Le onde gravitazionali esistono?" e "Le cellule staminali: il ritorno", mentre altrove si può discutere se è vero che le nuove centrali nucleari sono sicure; ancora, l'avviso di una conferenza di consenso sull'installazione di un inceneritore e infine uno sportello dove il cittadino può andare e porre delle questioni a degli scienziati. A parte la multisala, tutto il resto in realtà già esiste, magari non in Italia, dove conferenze di consenso e

"science shops" non sono ancora diffusi. Posti dove però discutere con piacere di centrali nucleari (sembra un ossimoro), oppure di OGM, fecondazione *in vitro*, cervello o social network, esistono in Italia e non sono pochissimi: si chiamano caffè scientifici, ne esistono più di una decina e hanno una programmazione su base generalmente mensile, tranne alcuni che concentrano gli eventi in periodi particolari dell'anno.

Un caffè-scienza non è, o meglio non dovrebbe essere, né una conferenza divulgativa né un dibattito tra esperti, bensì un incontro alla pari tra pubblico ed ospiti, nel senso che in principio ogni partecipante del pubblico può interloquire e intervenire come uno degli esperti, che hanno solo il vantaggio di introdurre brevemente sé stessi e il tema della serata. In mezzo, un moderatore che ha il compito di raffreddare o scaldare gli animi, a seconda del clima. Non è quindi una conferenza divulgativa perché in dieci-quindici minuti si possono solo abbozzare delle idee, ma soprattutto non deve essere un dibattito tra gli ospiti. La polemica/battibecco tra gli esperti, così popolare in televisione, è infatti la morte di un caffè-scienza, con il pubblico che oscilla tra lo sbadiglio, il non capire nulla e il tifo.

Un caffè-scienza vuole essere l'anti-dibattito televisivo ed è infatti indirizzato a chi, interessato all'argomento, fa lo sforzo di uscire di casa (possibilmente in compagnia) e quando ci rientra, se organizzatori e ospiti hanno fatto bene la propria parte, è soddisfatto della serata. Non perché si è confermato nelle proprie idee o perché ha capito "come stanno veramente le cose", ma perché una sana discussione democratica su temi anche ostici non può che fare bene.

Gli ingredienti per una buona riuscita sono molti (vedi box 1): un buon moderatore è importante, ma è chiaro che la scelta degli ospiti è essenziale: competenti ma non noiosi, affabili ma non egocentrici. In molti casi gli ospiti provengono dall'università e da centri di ricerca pubblici o privati, anche perché il comitato organizzatore di un caffè-scienza, spesso, è esso stesso formato da ricercatori, quando non è proprio nato dall'ufficio relazioni pubbliche della loro struttura di appartenenza. Questo facilita ovviamente la ricerca degli esperti, ma, purtroppo, non è automaticamente una garanzia di capacità comunicative e anzi può far correre il rischio di dare un approccio troppo istituzionale a un evento che non deve esserlo. È altresì importante che nell'organizzazione, o comunque nel processo decisionale che porta al programma, abbiano un ruolo anche cittadini comuni, in modo da evitare tutti i rischi di autoreferenzialità. Ultimo ingrediente, ma

(*) caffè-scienza Firenze (<http://www.caffescienza.it>)

¹ paolo.politi@cnr.it
<http://www.fi.isc.cnr.it/users/paolo.politi/>

² franco.bagnoli@unifi.it
<http://francobagnoli.complexworld.net>



Fig. 1 Una immagine dal caffè-scienza del 9 ottobre 2007 all'SMS di Rifredi su "La scienza per i beni culturali". A destra Paolo Politi che parla al microfono.

BOX 1

Lista degli ingredienti di un caffè-scienza

Cosa: gli argomenti di discussione (di solito legati a scienza e tecnologia, spesso con riferimento alla vita di tutti i giorni come medicina, trasporti, energia, ambiente, ma anche filosofia o storia) sono liberi, ma meglio evitare argomenti troppo tecnici o specialistici per cui il pubblico non ha facilmente domande da fare (ma ci sono stati caffè-scienza sulle frontiere della geometria differenziale...). Se il programma viene stabilito in anticipo per tutta la stagione si possono stampare locandine e volantini una volta sola.

Come: uno/due esperti e un moderatore/facilitatore. Cortissima introduzione e presentazione degli ospiti (10-15 minuti) e poi spazio al pubblico.

Chi: a meno di non avere tanti soldi, di solito gli ospiti sono "esperti" locali, tipicamente universitari o ricercatori. Evitare assolutamente politici e ospiti con opinioni contrastanti, altrimenti il dibattito si trasforma in un ring.

Dove: in un luogo pubblico, non formale (non una sala da conferenza), preferibilmente un bar, una caffetteria. La disposizione dei tavoli e delle sedie deve mettere a loro agio il pubblico ed eliminare le barriere.

Quando: l'orario si sceglie a seconda dei gusti del pubblico, pomeriggio, "apericena", dopocena. Di solito dura un paio di ore. Meglio abituare il pubblico a un appuntamento regolare (una volta al mese, tutti i primi giovedì per esempio).

Strumenti: un caffè-scienza si può fare senza nessun ausilio tecnico, ma se il luogo è grande, meglio avere un impianto di amplificazione. Si può registrare l'audio e/o il video o trascrivere la discussione e usare il materiale per siti web/blog/social network. Con un po' più di impegno si può trasmettere in streaming audio o audiovideo (per esempio appoggiandosi a una webradio universitaria, ma anche in Second Life). Per la pubblicità: e-mail, siti web, social networks, locandine e volantini, comunicazioni a giornali, radio e televisioni locali.

BOX 2

Mezzi di divulgazione a confronto

mezzo	audience	interazione/ partecipazione	impegno
Giornali/riviste/radio/televisione	grande, varia	bassissima	grande
Web/blog/social networks (amatoriali)	media, specializzata (può raggiungere i giovani)	bassa	medio
Caffè-scienza	piccola, varia (di solito dai 25 anni in su)	alta	medio

non certo per importanza, è la scelta del luogo del dibattito. Sono da evitare tutti i luoghi accademici, ma anche i luoghi troppo formali (sale conferenze, auditorium, teatri). Il posto ideale sarebbe un bar, un caffè, una birreria con tavolini, dove ospiti e pubblico sono, anche fisicamente, sullo stesso piano e dove tra una domanda e un intervento si può bere qualcosa (si veda la [fig. 1](#)).

Ci è capitato che colleghi domandassero: com'è possibile che si abbia una discussione paritaria tra esperti e cittadini comuni? Come si fa a mettere sullo stesso piano l'opinione di un ricercatore con quella di chi, in un certo settore, non ci lavora? Il punto fondamentale è che non si tratta di dare un punteggio alle opinioni, ma di permettere la loro espressione e anche l'opinione di un non esperto, se supportata da considerazioni convincenti o dati di fatto, deve essere tenuta in gran conto. Perché è proprio questo il punto: il discorso scientifico, anche in un dibattito pubblico, deve essere fondato su degli argomenti convincenti e non imporsi *ex cathedra* in virtù dello status di ricercatore o professore. Da questo punto di vista, il caffè-scienza è un'ottima palestra per la comunicazione scientifica. Non è infrequente che in un caffè-scienza uno spettatore particolarmente ferrato sull'argomento di discussione e venga promosso esperto sul campo.

Queste considerazioni assumono particolare importanza in dibattiti su temi che sono molto polarizzati: l'energia nucleare, gli organismi geneticamente modificati, l'elettrosmog, l'omeopatia sono solo alcuni degli esempi più famosi. In questi casi la nostra esperienza ci dice, purtroppo, che avere ospiti su posizioni contrapposte è quasi sempre nocivo. D'altronde, un caffè-scienza non è un dibattito pre-elettorale in cui vige la *par condicio*: se gli organizzatori credono che sia più opportuno dar maggiore voce, sul fronte degli ospiti, a una certa posizione piuttosto che a un'altra, non c'è nulla di scandaloso. La cosa importante è che tutte le opinioni del pubblico abbiano pari dignità e, soprattutto, che gli ospiti abbiano l'onestà di chiarire e spiegare la propria posizione.

Secondo noi, lo scopo precipuo di un caffè scientifico non è quello di divulgare la scienza, magari in maniera originale (scopo nobile e importante, sia chiaro!), ma quello di favorire un dibattito pubblico democratico su temi scientifici e tecnologici. In altre parole, andare oltre la comunicazione e inaugurare la partecipazione scientifica (vedi [box 2](#)). Ovviamente questo ha un costo: un caffè-scienza di successo non può superare gli 80-100 partecipanti, con un impegno economico molto contenuto ma un certo impegno organizzativo. Non è quindi un mezzo di comunicazione di massa, e nuovi caffè-scienza non nascono molto facilmente.

Anche per questo motivo, ci stiamo muovendo a livello locale [2], italiano [3] ed europeo [4] per favorire la nascita di nuove esperienze, sperimentare nuovi media [5] e nuovi formati [6], mettere in rete i caffè-scienza esistenti [7], allargare la partecipazione ai giovani [8] e ad altri strati sociali.

Ringraziamenti

Vogliamo ringraziare tutte quelle persone che in questi anni hanno permesso lo sviluppo della nostra iniziativa fiorentina: i soci dell'Associazione Culturale Caffè-Scienza; gli ospiti che sono sempre intervenuti con disponibilità; il pubblico che ci ha dato fiducia. I ringraziamenti più istituzionali partono dalla Società di Mutuo Soccorso di Rifredi (<http://www.smsrifredi.it/>), che ci ospita da molti anni, per continuare con il supporto logistico dell'Istituto dei Sistemi Complessi del CNR (<http://www.isc.cnr.it>) del Centro per lo Studio di Dinamiche Complesse (CSDC) dell'Università di Firenze (<http://www.csdc.unifi.it>). Infine, ringraziamo il sostegno finanziario del progetto Europeo SciCafé.

Per saperne di più

- [1] Si veda il premio, sponsorizzato dall'Unione Astrofili Italiani, per la (cattiva) scienza in TV <http://scienzaintv.ning.com/>
- [2] Nel sito del caffè-scienza di Firenze <http://www.caffescienza.it> si può trovare vario materiale relativo ai temi trattati, indagini sul pubblico, esperimenti con nuovi media.
- [3] I vari caffè-scienza italiani stanno provando a formare un coordinamento nazionale, <http://www.caffescientifici.it>
- [4] Il sito del progetto SciCafé della Comunità Europea è <http://www.scicafe.eu>
- [5] Esperimenti di caffè-scienza alla radio: <http://www.caffescienza.it/MoKa/RadioMoKa> in collaborazione con NovaRadio <http://www.novaradio.info>
- [6] Oltre alle esperienze alla radio, stiamo provando a trasmettere in streaming i nostri caffè-scienza, e, per gli argomenti più tecnici, proponiamo dei moduli con un solo esperto ed una presentazione più lunga, chiamati cafferENZE (ibrido tra conferenza e caffè-scienza).
- [7] Una raccolta di testimonianze da varie parti del mondo: <https://sites.google.com/site/scicafewebbook/>
- [8] Insieme a Formascienza di Roma, stiamo tentando di promuovere i caffè-scienza nei licei e nelle scuole superiori, <http://www.caffescienzajunior.org/>



IL NOSTRO MONDO

IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

150 ANNI FA

Il Nuovo Cimento (successore de "Il Cimento" 1843-1847) ha sei anni.

I fisici hanno contribuito, con l'impegno politico, con il pensiero, l'azione ed il sangue al Risorgimento. Hanno combattuto nella Guerra d'Indipendenza: i due co-fondatori del Nuovo Cimento Carlo Matteucci e Raffaele Michele Rocco Piria, e Riccardo Felici, Ottavio Fabrizio Mossotti, Leopoldo Pilla, Antonio Pacinotti, Gaetano Giorgini. Piria fu Ministro della Pubblica Istruzione nel 1860-61 e Matteucci nel 1862. Mossotti fu Senatore del Regno nel 1861. "L'Italia è fatta, rimangono da fare gli Italiani", e la fisica Italiana.

Dalla traduzione della "Nota sulla configurazione originaria degli anelli, la cui materia esiste attualmente nello spazio, trasformata in vari pianeti circolanti attorno al Sole, tra Marte e Giove", di Giovanni Palma, comunicata (in francese) all'Accademia delle Scienze di Torino il 30 giugno 1861. Il Nuovo Cimento 13 (1861) 146.

"Gl'intervali, che originariamente, separavano questi anelli, non hanno nulla d'incompatibile con le idee emesse da Laplace. I 64 pianeti telescopici conosciuti al giorno d'oggi, ci autorizzano a credere che una causa primitiva ha diretti i movimenti di tutti i pianeti. Questa causa consiste nello stato anteriore del Sole, circondato da un'atmosfera estesa per la forza di un calore eccessivo al di là delle orbite di tutti i pianeti, e ristretta successivamente nei limiti che essa ha attualmente. È soltanto nella transizione di nebulosa in quella di stella che possiamo concepire la sorprendente metamorfosi che si è effettuata in migliaia di secoli, conservando solamente qualche traccia incancellabile del movimento rotatorio inerente alla massa, la quale al progredire della sua condensazione si è costituita in conformità dei fenomeni che presenta l'esame dell'insieme del sistema solare."

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

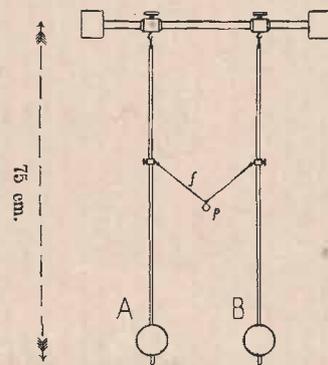
100 ANNI FA

La Società Italiana di Fisica ha quattordici anni.

Da "Un metodo didattico per ricavare due leggi fondamentali della propagazione ondosa" di A. G. Rossi. Il Nuovo Cimento, 26 (1911) 287.

"Si facciamo infatti oscillare dapprima liberamente, per mostrare che partendo al passo, rimangono in coincidenza di fase lungamente, e si noti il periodo comune come pendoli indipendenti. Poi si connettano fra loro col legame f , e si facciano oscillare, lasciandoli cadere insieme, come un tutto: si mantengono ancora lungamente al passo, e si constata che il periodo è rimasto sensibilmente invariato.

[...] Posto in oscillazione A, trasversalmente al piano comune, si osserva che il pendolo B partendo dalla quiete entra a poco a poco in oscillazione, mentre l'oscillazione di A si riduce a zero, per tornare poi ad amplificarsi mentre a sua volta B ricade in quiete, [...]"



50 ANNI FA

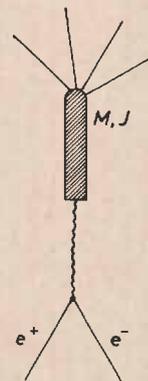
La Società Italiana di Fisica ha sessantaquattro anni. L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare ha dieci anni. La fisica italiana è matura. Il primo collisore elettrone-positrone, AdA, è stato realizzato a Frascati. (Cfr. E. Iarocci, "AdA: il successo di un'idea", in questo fascicolo a p. 17.)

Da "Theoretical discussion of possible experiments with electron-positron colliding beams" di N. Cabibbo e R. Gatto, Il Nuovo Cimento, 20 (1961) 185.

"High energy $e^+ e^-$ experiments can test the validity of quantum electrodynamics at small distances. There are two other aspects of such experiments that we want to stress:

i) The possibility of exploring form factors of strong interacting particles. These form factors are explored for timelike momentum transfers. Electron scattering experiments – whenever possible – can only explore spacelike momentum transfers.

ii) The possibility of carrying out consistently a "Panofsky program", i.e. the exploration of the spectrum of masses of elementary particles through their interaction with photons. This program can be extended to include the exploration of particular classes of unstable states."



a cura di Alessandro Bettini



Immagini di eventi al Polo Museale.

IL POLO MUSEALE DELLA SAPIENZA

1 Identità

Il Polo Museale della Sapienza

- è un insieme di opportunità culturali, scientifiche e tecnologiche; un parco di strutture museali e relativi spazi organizzati accomunate dall'appartenenza allo stesso megaAteneo, dalla vicinanza geografica, dai comuni interessi, costituite in sistema, teso a sviluppare il senso dei luoghi e a valorizzare l'identità delle comunità umanistico-scientifiche della Sapienza;
- documenta e conserva le testimonianze dei grandi eventi della "storia delle esperienze" scientifiche didattiche, formative, professionali maturate – nei 710 anni di vita – nei luoghi della Sapienza in sinergia con il territorio circostante e svolte sotto lo stimolo delle scuole di ricerca e di cultura che hanno dato lustro al più grande Ateneo d'Europa.
- è un grande laboratorio didattico e culturale, un insieme di luoghi del sapere, della storia delle tradizioni, propizi per rintracciare l'origine delle moderne esperienze professionali, nei contenuti preziosi di archivi, raccolte, strumentazioni.

2 Struttura

Il Polo Museale della Sapienza è strutturato in 5 aree ciascuna costituita da musei per un totale di 20:

- archeologica (antichità etrusche e italiane, arte classica, origini, vicino oriente)
- arte contemporanea (museo-laboratorio di arte contemporanea)
- medica (storia della medicina, anatomia patologica)
- scientifico-tecnologica (chimica, fisica, idraulica, merceologia, arte e giacimenti minerali, matematica)
- naturalistica (mineralogia, geologia, paleontologia, anatomia comparata, antropologia, zoologia, orto botanico, erbario).

3 Visione

L'orientamento strategico

- Il Polo Museale della Sapienza opera per la condivisione e la razionalizzazione delle risorse e per giungere a specifiche intese

volte alla realizzazione di forme coordinate di gestione, offerta, e promozione di funzioni e di servizi culturali.

- Il Polo attiva il coordinamento degli interventi di didattica museale che coprono tutte le tipologie museali presenti nel sistema, anche attraverso la formazione degli operatori museali e lo scambio da un lato di esperienze e materiali e dall'altro di studenti a livello coordinato: promuove iniziative ed eventi culturali presso le comunità universitarie e territoriali a supporto ed integrazione delle attività dei singoli complessi museali per incrementarne la conoscenza e la capacità propositiva, e radicarne il ruolo sociale nella conoscenza socio-territoriale. Dal punto di vista organizzativo il Polo coordina la fruibilità dei musei, la ripartizione delle risorse, la richiesta di finanziamenti ad Enti ed Istituzioni, la risposta a bandi per progetti culturali e di promozione turistica, la partecipazione ad iniziative di coordinamento e consulenza promosse dal sistema universitario italiano.

4 Gli obiettivi

- Costruire itinerari ideali ed articolati che colleghino le multiformi espressioni della memoria storica e della ricerca de La Sapienza e che corrono non solo attraverso e all'interno dei Musei, ma anche verso il territorio.
- Assicurare una migliore visibilità dei musei anche al fine di adeguarli alle esperienze e domanda/offerta internazionali.
- Armonizzare la gestione delle strutture museali equilibrandone i contenuti impiantistici, scientifici, tecnologici e culturali in modo da rendere omogenea l'offerta rispetto alle varie aree.
- Ottimizzare l'uso delle risorse disponibili, stabilendo priorità, emergenze ed urgenze e procedure per rispettarle.

5 Il futuro

I progetti

Il Polo Museale della Sapienza si basa su un "sistema informatizzato unitario" per l'intero Polo unificando le procedure informatiche di

catalogazione dei beni materiali ed immateriali posseduti dalle singole strutture museali, anche in relazione con altri progetti informatici e culturali de La Sapienza.

Il Polo Museale della Sapienza realizza specifici "percorsi didattico-museali" per singole aree tematiche anche in sinergia con enti locali (Ufficio Scolastico Regionale) ed istituzioni centrali (MIUR) ed attiva un articolato spettro di relazioni con quotidiani, organi di informazione telematica, Aziende di Promozione Turistica, Tour Operators, al fine di diffondere le informazioni indispensabili per la conoscenza e la frequentazione dei musei del Polo, ed accrescerne il richiamo, soprattutto sui più giovani.

Il Polo Museale della Sapienza promuove una gamma di servizi nelle singole strutture museali, compatibile con le risorse ed il personale disponibile (quali aree attrezzate per "navette", reception (accoglienza), ascolto informatico (supporto audiologico con cuffiette), spazi per la didattica e la divulgazione scientifica frontale, esperienze in vivo/dimostrazioni) ed opera attraverso un "sistema di comunicazione telematica" strutturato su organico sito web per l'intero Polo, prodotti culturali e bollettini di informazione online, newsletter, punti video collocati nelle strutture museali del Polo.

6 Conclusioni

Passando da un'articolazione – quella del passato – dei Musei di Ateneo come strutture soltanto riferite ai dipartimenti di appartenenza ad un modello integrato si è voluto accrescere la qualità e soprattutto la ricchezza dell'offerta culturale, anche in relazione a possibili forme di outsourcing da attività a sostegno del turismo e della richiesta culturale. Al tempo stesso si è inteso dotare l'Ateneo nelle sue tre componenti, docenti, amministrativi e tecnici, studenti, di un vero e proprio sistema scientifico basato sulla storia ed evoluzione delle discipline, sulla disponibilità di testimonianze e reperti, sull'apprendimento *in vivo*.

Luigi Campanella,
Sapienza, Università di Roma
Delegato del Rettore per il Polo Museale



ETTORE MAJORANA FOUNDATION AND CENTRE FOR SCIENTIFIC CULTURE

TO PAY A PERMANENT TRIBUTE TO GALILEO GALILEI, FOUNDER OF MODERN SCIENCE
AND TO ENRICO FERMI, "THE ITALIAN NAVIGATOR", FATHER OF THE WEAK FORCES



INTERNATIONAL SCHOOL OF SUBNUCLEAR PHYSICS 2011

SEARCHING FOR THE UNEXPECTED AT LHC AND STATUS OF OUR KNOWLEDGE

49th Course, Erice, Italy, 24 June - 3 July 2011

50th Anniversary Celebrations of the School 2011 - 2012 - 2013

This Course will be the first of the three devoted to the celebrations of the 50th Anniversary of the Subnuclear Physics School which was started in 1961 by Antonino Zichichi with John Bell at CERN and formally established in 1962 by Bell, Blackett, Weisskopf, Rabi and Zichichi in Geneva (CERN); the first course being at Erice in 1963. This is why the celebrations will last three years.

The EMFCSC has decided to give special funds for the three years celebrations of the 50th Anniversary. These funds will be devoted each year to the selection of 50 excellent fellows by the board of Invited Scientists and Lecturers.

The lectures will be, as usual, fully devoted to the latest and most significant achievements in theoretical and in experimental physics. In fact during the last half century the School has been involved in all crucial steps of our Physics. Few examples: SU(3) flavour and SU(6) [with SU(2)-spin coupled with SU(3) flavour] dismantled by the "No-Go-Theorem"; the battle between S-Matrix and Field Theory, the Universality of the weak forces [started with the β -parameter and the non existence of the "flavour changing-neutral currents" solved by the existence of "charm"], the experimental search for the 3rd lepton in the early sixties before the discovery of CP breaking, the birth of the Electroweak Unification and the SSB mechanism, the discovery of the negative sign of the β -function and of asymptotic freedom, the triumph of non Abelian field theories (QCD and QFD) with all consequences (including Instantons), the discovery of Supersymmetry (many years – and not few days – after the "No-Go-Theorem"). Now the focus is on RQST (Relativistic Quantum String Theory) and LHC, including totally unexpected events.

In 2011 there will be a special session of the School fully devoted to the celebration of the discovery of the negative sign of the β -function and of asymptotic freedom; in 2012 QCD and in 2013 SSB plus Instantons will be celebrated.

The application-form and the reference letter must be sent, by e-mail or ordinary mail, as soon as possible and at the very latest before April 10, 2011, to the following address:

Professor Antonino ZICHICHI
CERN
CH - 1211 GENEVA 23, Switzerland
e-mail: issp2011@emfcsc.infn.it

G. 'TOOFT - A. ZICHICHI
CO-DIRECTORS OF THE COURSE

A. ZICHICHI
DIRECTORS OF THE SCHOOL

ERICE PRIZE: "SCIENCE FOR PEACE"

Werner Arber, Yuan T. Lee, Gerardus 't Hooft and Samuel C. C. Ting are the 2010 laureates of the Science for Peace - Erice - Prize.

On the occasion of the 25th anniversary of the Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture (EMFCSC) the World Federation of Scientists (WFS) proposed to establish a "Science for Peace Prize", which was voted unanimously by the Sicilian Parliament and implemented by the Sicilian Government. The members of the World Federation of Scientists (WFS) elect laureates among world leaders in science and scientific culture to be awarded the prestigious prize. The impressive list of eminent winners of the prize can be found on the home page below of the Ettore Majorana Foundation and Centre for Scientific Culture (EMFCSC) in Erice (Sicily) <http://www.ccsem.infn.it/index.html>

The history of the World Federation of Scientists and the Erice Prize – Science for Peace

On the WEB home page of the World Federation of Scientists one learns, that the "WFS was founded in Erice, Sicily, in 1973, by a group of eminent scientists led by Isidor Isaac Rabi and Antonino Zichichi. The WFS is a free association, which has grown to include more than 10000 scientists drawn from 110 countries. All members share the same aims and ideals and contribute voluntarily to uphold the Federation's Principles. The Federation promotes international collaboration in science and technology between scientists and researchers from all parts of the world - North, South, East and West".

For more information about the WFS, see www.federationofscientists.org/WFSHist.asp

The 2010 Prize award

Voted by the Members of the World Federation of Scientists during the year 2010, the prestigious "ETTORE MAJORANA - ERICE - SCIENCE FOR PEACE PRIZE 2010" has been awarded to four eminent scientists, namely to WERNER ARBER, YUAN T. LEE, GERARDUS 'T HOOFT and SAMUEL C. C. TING. A prize award ceremony was held on 29 January 2011, at the seat of the Pontifical Academy of Sciences, in the Vatican (Rome) on invitation by Mgr Professor Marcello Sánchez Sorondo, Chancellor, Pontifical Academy of Sciences and Professor Dr. Antonino Zichichi, President, World Federation of Scientists.

Common to all laureates, whether microbiologist and geneticist (Werner Arber, Nobel Prize 1978) or chemist (Yuan T. Lee, Nobel Prize 1986), theoretical physicist (Gerardus 't Hooft, Nobel Prize 1999) or experimental physicists (Samuel C. C. Ting, Nobel Prize 1976), is their engagement to promote worldwide the "Spirit of Erice": Science without Secrets or Frontiers, as laid down in the Erice Statement (<http://www.federationofscientists.org/WfsErice.asp>) on Science for Peace, written in 1982 by Paul Dirac, Pyotr Kapitza and Antonino Zichichi, the current president of the EMFCSC.

The Erice Prize award statements, read out at the prize award ceremony by Professor A. Zichichi, are referring to the respective research topics and achievements of the prize winners.

Werner Arber for "his fundamental contributions to unravel the mechanisms which promote and limit the spontaneous variation of genetic information in micro-organisms; for his theory of molecular evolution which puts on a scientific basis the fact that Nature cares actively for biological evolution, thus allowing us to understand and evaluate the risks of genetic engineering";

Yuan T. Lee for "his discoveries to determine the structure and chemical behavior of highly reactive polyatomic radicals and unusual transients species; for his achievements in the basic chemical reactions and primary photo-dissociation processes; for his studies to modify chemical reactivity; for his contributions to the development of methods to detect, directly, the transients intermediates that are critical in combustion and atmospheric processes";

Gerardus 't Hooft for "his discovery of the negative sign of the β -function in the most critical period of crisis for the Relativistic Quantum Field Theory which he brought to new life with his fundamental contributions to understand the Renormalization processes, thus paving the road to Quantum Gravity, Supergravity, Superstring Theories including the nature of the Black Holes";

Samuel C. C. Ting for "his discovery of the J-particle, the first 'narrow' state in Subnuclear Physics, which gave rise to the so-called "November Revolution", where from a great step forward came in the understanding of the Logic of Nature, whose most recent frontier is the search for Antimatter in Space".

During the ceremony each laureate was invited to present his current work projects, followed by discussions with an audience of members of the World Federation of Scientists. The ceremony continued with a visit to the Galileo Galilei exhibition inside the unique renaissance church "Santa Maria degli Angeli" and ended with a midnight concert in the church.

Horst Wenninger
CERN, Geneva

Antonino Zichichi with:



Werner Arber.



Yuan T. Lee.



Gerardus 't Hooft.



Samuel C. C. Ting.



WOMEN IN PHYSICS IN CHINA – PAST AND PRESENT

As is generally recognized, over the past decades China has made tremendous progress in all areas, especially economically, with a GDP (Great Domestic Product) now ranking second in the world. However, the per capita income is still relatively low and many pressing issues need to be solved, including many that were nonexistent before and have newly cropped up. Apart from the more obvious energy resources and environmental pollution problems, there are also subtle socio-economic issues. Generally, economic prosperity allows a country to promote science and education, which acts as a catalyst in the spread of more liberal attitudes and policies. In China this is also true, but it takes time to recover from the vicissitudes of the last century, and unfortunately some old feudal practices have resurfaced.

In the early 1950's as the country started rebuilding its battered economy, to make up for the lack of labour there was a mass entry of women into the workforce, making up almost 50%. In fact, it was considered reprehensible for a woman to stay at home and not be contributing to the nation's needs. Men and women were decreed by law to have equal rights. Actually, women enjoyed special benefits, including maternity leave and earlier retirement for manual workers, with a pension

at age 50 compared to 55 for men. During this period the universities were restructured, with stronger emphasis on science and technology in an ambitious plan to train new generations of scientists and engineers. Enrollment of women in schools and colleges increased at an unprecedented rate, especially in the sciences, and in certain fields such as medicine there were more women than men. All graduates were guaranteed jobs with equal pay for men and women alike, while the retirement age for those in academia could be extended to 65 for senior ranked men and women alike, if necessary. Equality between the genders was an accepted fact because of government policies that were strictly enforced.

Then, during the "cultural revolution", ideology went to the extreme, and students and professors were sent to be "re-educated" by the workers and peasants, who became the "upper" class. In order to prove they were the most revolutionary and on a par with men, women actually contended for the heaviest tasks in agriculture and industry, even going down pit shafts in coal mines. Austerity was revered; pretty clothes and make-up were thrown in the dustbin. There was nothing men could do that women could not.

The cultural revolution finally terminated, and the reforms that started in the late 1970's

have continued to this day. In the 1990's, renewed awareness of the importance of science and technology led to significant rises in the salaries of scientists, together with a steady increase in research funding that has continued to this day. After centuries of stagnation, science and technology is beginning to blossom again in China.

But even in the darkest period of the early 20th century when the country was suffering foreign invasion and universities were disrupted by the wars, physics education and research managed to survive through the efforts of dedicated pioneers, though many students had to continue their education abroad. It was also a time of women's emancipation, and in 1931 the first female Chinese physicist Gu Jin-Hui (Ku Z. W.) obtained her PhD from Michigan University, returning the same year to teach in Nankai University. The Chinese Physical Society was established in 1932. Another young lady, Chien-Shiung Wu, was later to become the first female president of the American Physical Society. It is interesting to look at the ratio of female undergraduates in the Physics Department of Peking University from 1938–2000, as shown in [table 1](#). The numbers vary widely, reflecting the turmoil of the times: during World War II many universities evacuated south to form

Years	No. of Women	Total No.	% of Total	Note
1916-26	0	87	0	Graduation data
1927-37	0	133	0	Graduation data
1938-46	5	69	7.2	Combined into Southwestern Associate Univ
1947-49	6	26	23.1	Graduation data
1950-58	109	861	13.6	Graduation data
1959-70	403	1999	20.2	Graduation data
1975-81	274	694	39.5	Graduation data
1977-90	320	1980	15.9	Enrollment data
1991-99	32	711	4.5	Graduation data
1996-00	485	64	13.2	Enrollment data

Tab. 1 Female undergraduate enrollment in the physics department of Peking University.

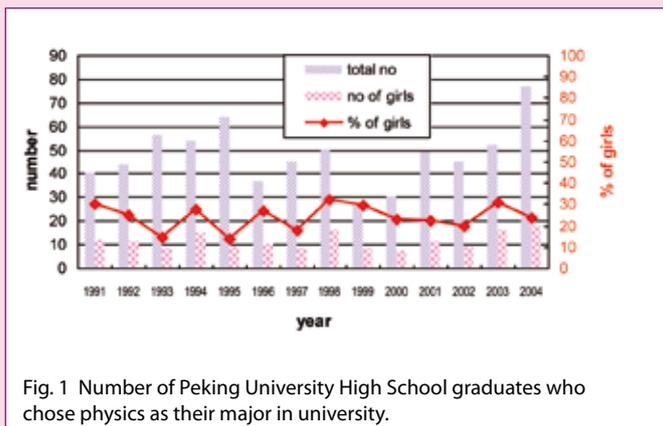


Fig. 1 Number of Peking University High School graduates who chose physics as their major in university.

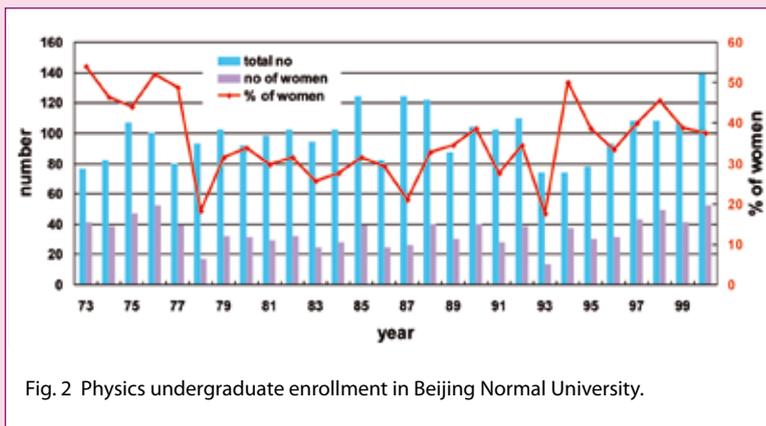


Fig. 2 Physics undergraduate enrollment in Beijing Normal University.

temporary collective universities; during the cultural revolution enrollment ceased until 1972 when students were recruited from young workers and peasants based on recommendation – girls were more disciplined than boys and so were more likely to be nominated by the authorities, which explains the higher proportion; national college entrance examinations resumed in 1977.

Since China's opening up to the world, women in physics together with their male colleagues started to enjoy a much better material environment, with new classrooms, offices, and labs, more money to buy equipment and attend conferences, access to the Internet, etc. However, as is often unavoidable, the good comes with the bad. Newly found affluence has led to a change in the sense of values, which has switched back and forth many times. Whereas before, young people were guaranteed jobs and security, and were willing to undergo all hardships with the ideal of building a modern socialist China, now many are in a dilemma as they are confronted by a whole spectrum of possible careers, from being an astronaut to a popstar. Physics is still highly regarded, and physics departments have little difficulty in enrolling the best students. In senior high school the students are divided into science and arts classes, with the

former greatly exceeding the latter. All those choosing science have to learn physics, so the same number of girls as boys learn physics. However, as the figures from Peking University High School show (see fig. 1), the number of girls who go on to take physics as their major in university is only one quarter of the total, and this ratio has been fairly constant over the years. This is the first hole in the "leaky pipeline".

Actually, in secondary schools about 70% of the physics staff are women, mostly coming from teachers' colleges and normal universities where the ratio of female physics majors is more than 30%, compared with 15–25% for other institutions of higher education. Figures 2 and 3 show, respectively, the undergraduate enrollment in the physics departments of Beijing Normal University and Tsinghua University (regarded as the MIT of China). However, paradoxically and quite the opposite to other countries, the ratio of women studying for a PhD in physics is actually higher! Does this mean that women have become more attracted by physics after the college? It would be great if this were true, but unfortunately this is not the main reason. In fact, it reflects an ominous trend. Due to a major shift in government policy, college graduates now have to seek

employment themselves. Although by law men and women are supposed to share equal rights including the right to work, sex discrimination in employment is becoming more and more blatant, with many companies and institutions openly stating "only men need apply," or requiring women to accept contracts with outrageous demands such as pledging not to give birth for three years. Thus, women feel compelled to seek higher degrees to raise their competitiveness in the job market. Ironically, in the graduate entrance exams, male candidates often score lower grades resulting in lower admission rates, to the extent that some professors are complaining they have too many female students! Figure 4 shows the change in composition of the graduate enrollment of the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences (a research organization with no undergraduate education). It is evident that the ratio of women students has risen considerably.

On the other hand, it is alarming that the number of permanent female research scientists in our institute has dropped, especially those in higher ranks (see fig. 5), being due in part to the retirement of the "old guard" which has not been replenished, and to the return of outstanding young scholars from abroad, who are given full professorial

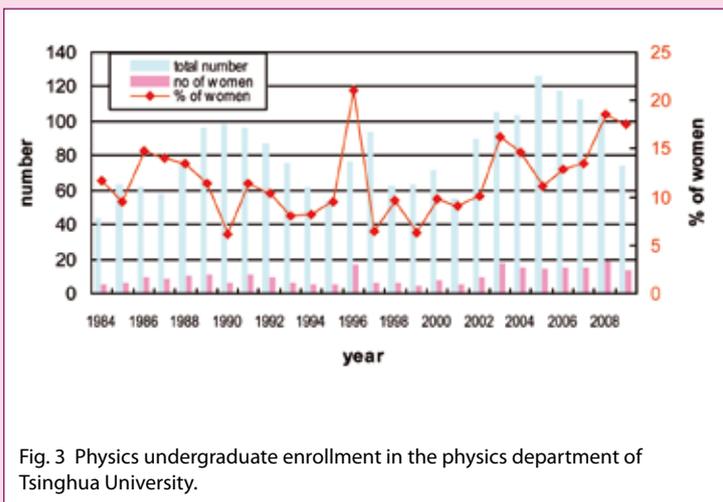


Fig. 3 Physics undergraduate enrollment in the physics department of Tsinghua University.

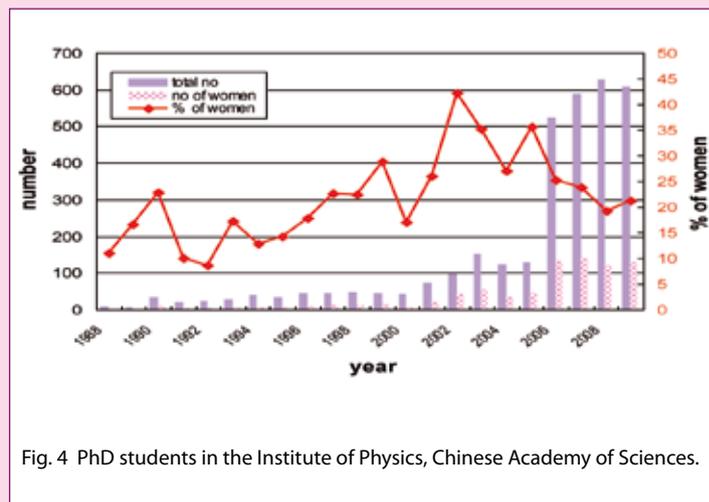


Fig. 4 PhD students in the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences.

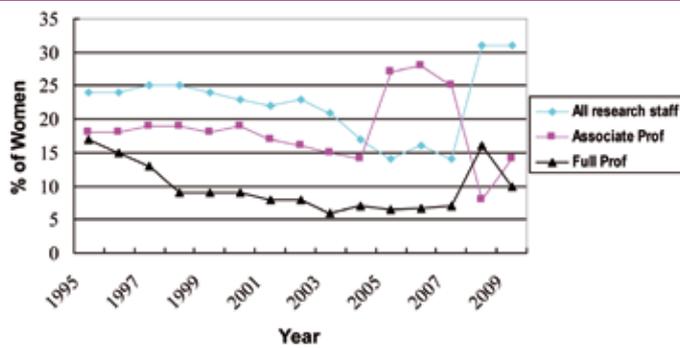


Fig. 5 Percentage of female research staff in the Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences.

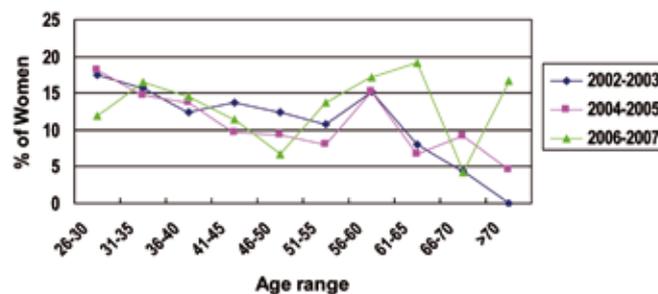


Fig. 6 Percentage of women awarded ordinary NNSFC grants in physics ranked by age (averaged over every two years from 2002 to 2007).

positions and who are predominantly male. It seems strange that there is a sudden peak in the ratio of associate professors, but this was due to the relative decrease in the number of male associate professors after they were promoted to full professorship. Another interesting point is the increase of female research staff in the last few years, which may be a good indication that there is an increasing number of younger female faculty members being recruited.

Although this is only one case study, it does reflect a general trend, as can be verified by looking at the data of the National Natural Science Foundation (NNSFC) of China. In fig. 6, the older and the younger women physicists are apparently more successful in winning research grants, and this may be related to the fact that their numbers are relatively larger in this age bracket. Why there is a dip for the 40–50 year old generation is somewhat puzzling, but this may be because this is the period when women have the heaviest burden of looking after the household, children, and aged parents. Beyond the age of 65, only academicians are exempt from retirement, and as the number of female academicians is less than 5% the ratio drops steeply. Not illustrated here is the percentage of female principal investigators of major national projects, also less than 5%, and another indication of the leaky pipeline.

Since the establishment of the Working Group on Women in Physics of the Chinese Physical Society (CPS, Beijing) in 2002, we have made considerable efforts to broadcast physics and remedy the leaky pipeline, beginning with the analysis of statistics collected through personal contact with various institutions, as there are no national data available pertaining to physics and gender. On this basis, we decided on short-term and long-term

strategies to improve the status of women in physics. To begin with, it was decided to hold a round table meeting to discuss women's issues at our annual CPS meetings, and this has now become a tradition. Every year since 2004 our *Physics* magazine publishes a special March installment with articles on women in physics. The 2005 World Year of Physics was a great opportunity for outreach, and the CPS printed a set of 51 different posters on achievements in physics, including two on outstanding female physicists, Chinese and foreign. To encourage girls to study physics, certain provinces now offer a special girl's prize in their local Physics Olympiads. It is indeed encouraging that in the 2009 International Physics Olympiad the highest overall score was earned by a girl for the first time, Handuo Shi of China, who also garnered the highest experimental score, and of course the best girl's award. All of the five-member team from China won gold medals, including another girl. In 2007 the CPS established the Xie Xi-De Physics Prize, named after an outstanding female physicist and educator (originally known as Hsi-teh Hsieh, 1921-2000) who became the President of Fudan University; this prize is awarded biennially to a woman who has made exceptional contributions in physics research and/or teaching.

Another landmark in the efforts of the Working Group was the approval from our NNSFC, announced just last year, for the extension of the age of women applying for Young Investigator Awards from 35 to 40, as well as for an extension for the date of completion of ongoing grant projects in the event of childbirth. This success was also thanks to the concerted support of all other women in science. The question of research grants specifically for women is currently under debate, as public opinion and funding

agencies still need to be convinced that there really is a need. A serious reason now why few women are in top positions is the leak at age 55. The favourable policy of early retirement for manual workers has now been extrapolated illegitimately by most institutions to forced retirement at 55 for all white-collar female employees, including research faculty who have not reached full professor ranking, whereas their male counterparts can retire at 60 (for those who have attained full professorships the age is 65 for both genders). Thus women are simply not given the chance, and this is especially unfair as after 55 women have just been relieved of the duties of looking after children and can devote full-time energy to their pursuits of interest. The real reason behind the abuse of this policy is that institutions wish to open up positions to younger, mostly male recruits.

The elimination of gender discrimination in employment is a problem that is not unique to physics, and needs to be addressed in all fields, amongst all sectors. This is a long-term goal of our working group, and several women's organizations have already been lobbying this issue, but it will probably not be accomplished in the near future as it involves policy at the government level. More needs to be done to attract the attention and support of men, to let them realize that affirmative measures are required to help women overcome the difficulties that men do not encounter. Equity, and not just equality, is what is really needed, and in the long run this will surely benefit humanity and the world in general. As physicists, we should all do our part to enable women to give play to their full potential in contributing to the advancement of science and society.

Ling-An Wu
Chinese Academy of Sciences, Beijing

Ling-An Wu

Ling-An Wu è Professore dell'Istituto di Fisica dell'Accademia delle Scienze Cinese. Oltre ad essere uno scienziato di chiara fama nel campo dell'ottica quantistica e non lineare, ha ricevuto diversi premi dall'Università del Texas e dall'Accademia delle Scienze Cinese, oltre al National March 8th Red Banner Award nel 2004. Inoltre è membro attivo, con diverse cariche, in molte società di fisica: CPS, IUPAP, OSA (Optical Society of America) e IOP, di cui è anche fellow dal 2002.

“TWO-IN-ONE” COULD BE BENEFICIAL FOR THE EUROPEAN RESEARCH INFRASTRUCTURES

In view of the acknowledged discussion on the value of diversity, the participation of women in science and research, as well as in the research policy debate, has to be seen as essential to achieve excellence and innovation in research and to ensure a sustainable scientific quality of research, which will require 700 000 additional researchers to carry out work in the coming decade. Using the full potential and scientific excellence of women scientists is also a key to harmonisation of the European research area and preventing Europe from brain drain.

The mobility of researchers is essential to successfully ensure the full implementation of the European Research Area (ERA) and to increase knowledge transfer between research infrastructures. While moving from one place to another, it becomes a great challenge for researchers to simultaneously meet the requirements of a family life and a professional career. Such an exercise could be detrimental to the promotion of women scientists. What kind of measures might help in reducing this thread? This column presents a concept “two-in-one”, which developed in my mind while I was working on the list of requirements to be satisfied by a research infrastructure in order to be chosen as a host of ESFRI selected infrastructures. ESFRI stands for the European Strategy Forum on Research Infrastructures (http://ec.europa.eu/research/infrastructures/index_en.cfm?pg=esfri).

By allocating a substantial budget for research infrastructures, the European Governments advised by the ESFRI, contribute to the long-term direction of the European research and the work conditions of future generations of researchers. ESFRI, therefore, has a privileged position to influence long-term and sustainable changes in that respect.

The “two-in-one” means that the Research Infrastructures Executives offer a special work-package – two jobs for a family of researchers at one and the same research infrastructure.

The author is aware of the difficulties which may arise in implementing such a package in practice. A step that might facilitate the process would be a joint project of several relevant bodies which aim to find complementary sources. A team of scientists from the European Physical Society and the European Platform of Women Scientists could assist ESFRI working groups in searching complementarities.

What should be the ESFRI's role?

ESFRI can actively contribute to the general European effort to promote the participation of highly qualified women scientists by including women scientists and their ideas, needs and aspirations in the initial design of European Research Infrastructures (ERI) and in the choice of suitable sites. Both will affect the composition of ERI future workforce and research body and hence the scientific excellence and innovativeness of results.

Against this background, criteria and measures to ensure a diverse future workforce and research body, the list of requirements to become a host of a research infrastructure should situate European Research Infrastructures in their social context and include human-resources-related issues and pay particular attention to the attraction and promotion of excellent women scientists. Also, research infrastructures

have to be attractive to a mobile workforce and research body that temporarily make use of the infrastructure and would be attracted by measures that make their stay easy to organize. Measures like

- design sustainable infrastructures to support researchers with double career needs;
 - offer on-site caring/nursing facilities, living quarters for researchers with good access to schools and kindergartens, good and safe transportation systems to the areas where researchers live;
- although expensive will benefit the society in the future. Candidates for hosting a research infrastructure could be asked to elaborate an action plan indicating all kinds of actions and activities that will be developed



The European platform of women scientists – the Board of Administration, the Coordinator and the staff (BA members: first row, left to right: Ana Proykova, Isa Schön, Claudine Hermann, Adelheid Ehmke, Hagit Messer-Yaron).

to promote equal opportunities and gender equality among the workforce and the research body.

Let the European Platform of Women Scientists be involved

The European Platform of Women Scientists (EPWS) has been created in 2005 as a FP6-funded project to encourage women scientists to publicly voice their interests, their suggestions and their worries about the current paths taken and to make them aware of the role they can actively play in the research policy debate and in the shaping of research policy in Europe (http://www.epws.org/index.php?option=com_content&task=view&id=56&Itemid=4579). The Founding Board of the EPWS - Prof. Adelheid Ehmke (Luxemburg, President 2006–2009), Dr. Brigitte Mühlenbruch (Germany, President 2005–2006; President 2009–at present), Prof. Claudine Hermann (France, Vice-President 2009–at present; physicist), Prof. Mineke Bosch (Netherlands), Prof. Gillian Gehring (United Kingdom, physicist), Dr.

Liisa Husu (Finland), Prof. Hagit Messer-Yaron (Israel), Prof. Ana Proykova (Bulgaria, physicist), Prof. Flavia Zucco (Italy), Dr. Isa Schön (Belgium), Mag.a Gabriele Gerhardt, Begoña Sanchez (Spain) – covered various professional expertise and cultural diversity.

During its project lifetime, the Platform was successful in establishing networks for discussion to actively involve women scientists in the setting of the European research agenda. One topic, discussed in depth, has been **the mobility of researchers**. It has been pointed out the possible incompatibility between mobility and the aim to increase the number of women in science – any mobility that would be mandatory or a pre-condition to career advancement would strongly enhance that risk. Instead, the discussants urged for adoption of mobility policies, measures and procedures that support the mobility of researchers with caring responsibilities and take into consideration gender perspectives.

The European Physical Society is a natural partner

The EPS provides a European forum for physicists representing national, scientific, and topical interests. Together, they elaborate the

strategic vision for the EPS, and for the European physics community (<http://www.eps.org/about-us>).

These three bodies could elaborate action plans including firstly, an analysis of the current situation relative to participation of women in research, and to integration of the gender and family dimension in the research area in which the application is being submitted; secondly, based on this analysis, measures for promoting the new package (two-in-one) should be proposed. Some measures are not expensive at all – flexibility in working hours, options for part-time work, working from home, scheduling of meetings in core hours where schools and kindergartens are open. Others need some investments – provision of a childcare for employees – but these pay back fast.

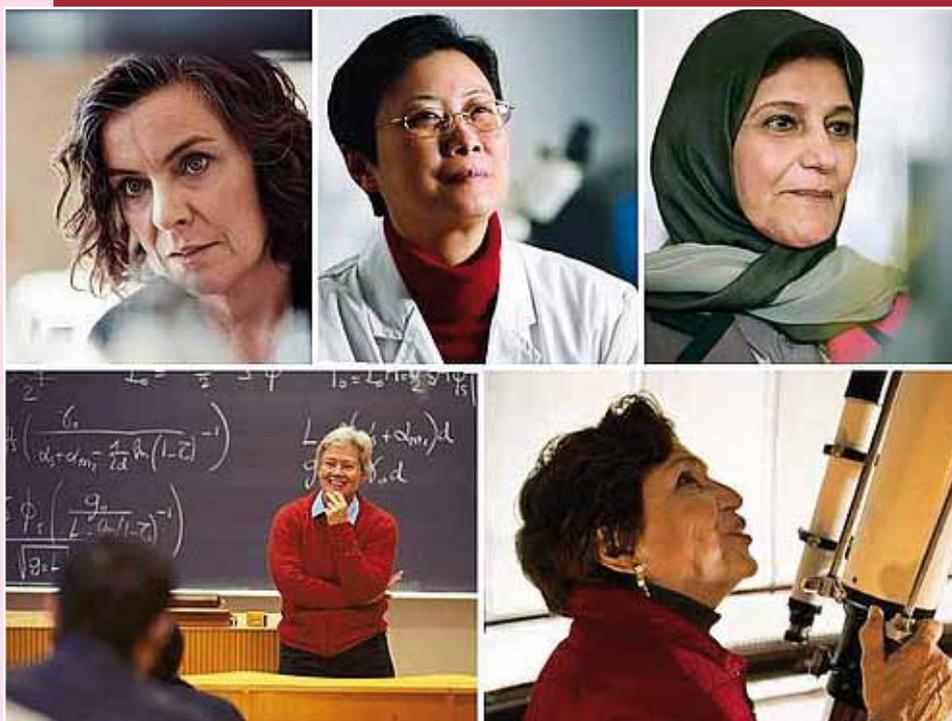
The decisive aspect is not the outset situation, *i.e.* the participation of women in the research area in question, but the progress to be achieved in the framework of the research infrastructure.

A. Proykova
University of Sofia

Ana Proykova

Ana Proykova is a Full Professor in Physics at the University of Sofia (computational theoretical physics – phase transformations and self-organization of atomic and molecular clusters; defective carbon nanotubes – interaction between defects and its role in adsorption; potential energy surface – topography, symmetry and stability of the systems). She works at large research infrastructures – Joint Institute for Nuclear Research (Dubna), Paul Scherrer Institute (PSI). Currently, she is a national delegate to the ESFRI, a member of the Executive Council of the EPS and the President of the National Council on Nanotechnology.

PREMIO L'ORÉAL-UNESCO 2011



Cinque scienziate eccellenti – una per continente – hanno ricevuto il Premio L'Oréal-UNESCO 2011, ambito riconoscimento per le donne nella scienza. Le premiate di questa 13ª edizione sono:

- Per l'Africa e gli Stati Arabi:
Faiza Al-Kharafi, Professore di Chimica, Università del Kuwait, Safat, Kuwait
- Per l'Asia/Oceania:
Vivian Wing-Wah YAM, Professore di Chimica e Energetica, Università di Hong Kong, Cina
- Per l'Europa:
Anne L'Huillier, Professore di Fisica Atomica, Università di Lund, Svezia
- Per l'America Latina:
Silvia Torres-Peimbert, Professore Emerito, Istituto di Astronomia, Università UNAM, Città del Messico, Messico
- Per l'America del Nord:
Jillian Banfield, Professore di Scienza della Terra e dei Pianeti, Scienze Ambientali e Ingegneria e Scienza dei Materiali, Università della California, Berkeley, CA, USA

© V. Durruty & P. Guedj for the L'Oréal Corporation Foundation - Prof. Jillian Banfield, Prof. Vivian Wing-Wah YAM, Prof. Faiza Al-Kharafi, Prof. Anne L'Huillier, Prof. Silvia Torres-Peimbert (dall'alto al basso, da sinistra a destra).



G. SALVINI – L’UOMO, UN INSIEME APERTO. LA MIA VITA DI FISICO. Mondadori Education SpA, Milano, 2010; pp. XV + 200; € 16,00

Giorgio Salvini, l’uomo dalle multiformi esperienze, si narra. Nella seconda parte del libro, novantenne, s’interroga sulla traccia che lascerà, riflettendo più in generale sull’essere dell’uomo, che assimila, forzando coscientemente l’analogia, ad un insieme matematico aperto.

La seconda metà del secolo scorso ha visto la fisica fondamentale svilupparsi dagli esperimenti pionieristici sui raggi cosmici, in un panorama teorico necessariamente confuso, all’edificazione di una teoria chiara e logica delle interazioni fondamentali, il modello standard. Salvini ha partecipato attivamente a questo processo, ma il punto focale del suo racconto è la sua propria vita. La fisica è sì ricordata, a livello divulgativo e non senza imprecisioni, ma rimane a far da sfondo all’azione. Sulla scena della quale compaiono di volta in volta i fisici, grandi e minori, con i quali il protagonista è venuto in contatto.

Salvini non è solo un fisico, ricercatore e professore. Nella sua formazione a Milano c’è l’esperienza di maestro elementare, e “l’ammirazione della mente che si apre al nuovo”, di 56 allievi di quarta, il servizio tra gli Alpini della Julia, e la fortuna di evitare la tragica fine di molti di loro, la frequentazione di botteghe di pittura e di poesia, pensando queste arti come possibili impegni di vita (che ci sono, come hobby). Degli studi universitari, compiuti durante la guerra, lavorando per mantenersi, Salvini lamenta una forzata frammentarietà, non priva di conseguenze limitanti nel suo successivo fare fisica. Segue un periodo di vita clandestina nell’Istituto di Fisica di Milano nel 1944-45, e la fortuna di incontrarvi una studentessa, Costanza Catenacci, che sarà la compagna della vita.

Finita la guerra, venne l’esperienza del CISE (Centro Informazioni, Studi ed Esperienze), un nuovo modello, nell’Italia che rioriva, di collaborazione tra ricerca universitaria e industria, la nascita della fisica nucleare applicata in Italia, lo sviluppo di una politica

energetica nella quale non possono mancare i reattori nucleari. Poi riprende la ricerca fondamentale, con le esperienze sui raggi cosmici in montagna in Italia e poi in Colorado, sino al 1952.

Nel 1951 nasce l’INFN e due anni più tardi il suo Presidente, Gilberto Bernardini, decide di affidare a Salvini, che si sposterà a Roma, il progetto di un nuovo laboratorio e di un acceleratore, l’eletto-sincrotrone. Nella sua onestà intellettuale Salvini ricorda: “Fu una scelta vantaggiosa per tutti. Certo, in quegli anni lavorai con cocciutaggine e grande impegno, ma non posso dire di avere elaborato idee veramente originali. Se in qualche modo avevo meritato quella responsabilità era più per le mie doti di volontà, curiosità e intuizione che per qualità scientifiche eccezionali”. Ma per quelle doti, eccezionale fu il risultato, il capolavoro di Salvini. Cominciò col reclutare giovani neo laureati in fisica e ingegneria, selezionandoli presso le Università italiane con la sola caratteristica di essere bravi, non già di avere esperienze specifiche, e ne fece un gruppo coeso. “A diciotto anni si è adulti, a ventiquattro si è maturi per qualunque impresa, e a trenta figuriamoci. Io ero un vecchione, avevo trentadue anni!”. Inserì nel gruppo esperti quali Querzoli, Ageno e Quercia. Guidò il gruppo e fece le scelte strategiche giuste (ad esempio il più sicuro foccheggiamento debole, anziché forte, del fascio). Il Laboratorio di Frascati sorse in pochi anni (meno del tempo oggi necessario solo per la gara d’appalto per un edificio) là dove erano vigne e sterpaglie e il sincrotrone entrò in operazione nei tempi previsti, nel 1959.

Di quel periodo Salvini ha il ricordo indimenticabile di Fermi, che incontrò in occasione della scuola della SIF. Il Presidente Polvani l’aveva voluta a Varenna, il direttore della scuola, Gianni Puppi, vi aveva raccolto il gotha della fisica fondamentale. Purtroppo sarebbero stati gli ultimi giorni di Fermi, ma, “se si esclude il dolore per la sua scomparsa, quella di Varenna del 1954 fu un’estate superba, che rivestì una storica importanza per la fisica mondiale”.

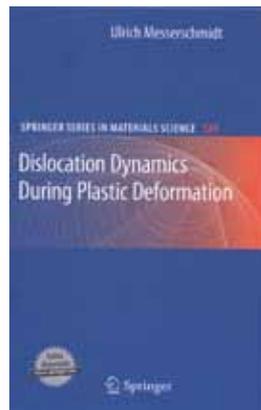
Completata la costruzione, Salvini decide di lasciare la direzione di Frascati per tornare

all’attività sperimentale, quando, nel febbraio 1960, Bruno Touschek lancia la rivoluzionaria idea di far circolare nell’elettrosincrotrone, nuovo nuovo, anche un fascio di positroni in verso opposto agli elettroni. Si poteva così realizzare un anello di collisioni elettrone-positrone. Ma si rischiava che la nuova macchina non producesse fisica, e Salvini non accettò la proposta; ci si accordò sul progetto di un piccolo prototipo, ADA. Ad ADA seguiranno a Frascati ADONE e anelli elettrone-positrone di energia e luminosità crescenti in molti Paesi, portando un contributo essenziale alla costruzione del modello standard.

Ma, dopo la fase di straordinario progresso culturale ed economico, le prime nuvole comparvero nel nostro cielo. Interessi politici ed economici portarono nel 1964 allo strumentale arresto e all’altrettanto strumentale processo a Felice Ippolito, Presidente del CNEN. Fisica nucleare applicata, CNEN, e fondamentale, INFN, erano allora strettamente legate. “I Laboratori di Frascati vennero indagati ed esaminati a fondo; si cercò in tutti i modi di accusare anche la direzione di Frascati, ma il tentativo fallì”. Ne soffrirono profondamente però lo sviluppo della fisica e dell’industria nucleare italiane e non fallì, un quarto di secolo dopo, l’attacco oscurantista, a polarità politiche invertite, che portò, tra l’altro, all’abbandono italiano della produzione (ma non dell’utilizzo) di energia pulita dalla più conveniente sua fonte.

Altre nuvole erano all’orizzonte. Alla fine degli anni 1960 iniziarono agitazioni di nuovo tipo nelle Università e nelle industrie, nelle quali Salvini riscontrò, ben prima di molti altri, “un drammatico nullismo intellettuale: l’interruzione del lavoro in officina per stare ore a braccia conserte o il superamento di esami con un programma monco o insignificante non erano certo vittorie di alcun tipo”. E con il nullismo, vennero l’oscurantismo e la violenza degli anni 1970, dalla quale Salvini stesso, che non faceva certo mistero delle sue opinioni, fu colpito, sia pure non gravemente.

Dal 1966 al 1969 Salvini fu Presidente dell’INFN, con il suo stile di uomo d’azione. Poi un’altra svolta; egli ritorna alla ricerca,



ad ADONE e, soprattutto, si concentra sugli studenti, convinto che debbano esistere connessioni profonde tra ricerca e insegnamento, in buona parte ancora da scoprire.

Ed ecco presentarsi l'occasione di una nuova sfida. Nel 1976 Carlo Rubbia propone di trasformare il super-protone-sincrotrone del CERN da acceleratore di protoni a collisore protone-antiprotone, accelerando due fasci di carica opposta nella stessa struttura. Si sarebbero potute raggiungere le energie, e qui stava la difficoltà, le luminosità necessarie per la produzione dei bosoni intermedi, la previsione fondamentale del modello standard. La fisica dei fasci particella-antiparticella era nata a Frascati, la proposta riecheggiava quella di Touschek, e Salvini, "naturalmente", partecipa alla proposta dell'esperimento UA1, guidando il gruppo di fisici di Roma. La nuova avventura scientifica durerà un decennio. Seguirà un nuovo profondo impegno nell'insegnamento, la Presidenza dell'Accademia dei Lincei e l'incarico di Ministro dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica nel Governo Dini dal 1995 al 1996.

Salvini termina l'autobiografia al 2001, ma aggiunge, a conclusione, una parte speculativa sull'essere dell'uomo, sulla sua storia e sulle prospettive dell'evoluzione della sua civiltà. Egli disciude qui i suoi intimi pensieri, che vanno apprezzati, condivisi o no, leggendoli, non leggendone un commento. Mi limiterò quindi a citarne una breve sintesi: "quattro sono a mio parere le colonne portanti sulle quali poggiano la struttura e la storia dell'uomo: il cammino scientifico e tecnologico [...]; l'ignoranza del futuro; la ricchezza delle espressioni umane, di cui la scienza è solo una parte; l'istinto del bene e l'amore verso il prossimo". L'etica, la poesia e la scienza sono le vie fondamentali del progresso umano. Per esse, ciascuno di noi non è solo. Per la scienza, l'autore abbozza una descrizione della fisica subnucleare e della cosmologia, e delle loro prospettive. Tuttavia, a mio parere, lo spazio è ristretto e le scelte dei punti di frontiera sono discutibili (ad esempio l'enfasi è sulle teorie di stringa, non verificabili sperimentalmente e quindi, almeno per ora, fuori della fisica, mentre la supersimmetria,

così importante per la cosmologia e la materia oscura, la cui verifica sperimentale è parte principale del programma di LHC, è appena accennata), ma ciascuno fa le sue scelte. Di etica e poesia, l'autore sceglie due grandi esempi, sorprendenti forse per chi non conosce Salvini giovane novantenne, l'etica di Confucio e la poesia dei Sepolcri. "A egregie cose il forte animo accendono l'urne dei forti, o Pindemonte."

A. Bettini

U. MESSERSCHMIDT – DISLOCATION DYNAMICS DURING PLASTIC DEFORMATION. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010; pp. XIII + 503; € 145,55

This book addresses a problem central to materials physics, namely: the response of dislocations to applied external loads. Dislocations are extended lattice defects mediating many important phenomena like, e.g., crystal plasticity, grain boundaries sliding, and work hardening. Therefore, understanding their dynamics is crucial to quantitatively describe the microstructure evolution of complex materials.

The book is organized in two (almost independent) parts.

Part I is a tutorial introduction to the geometric and elastic properties of dislocations, as well as to their generation, motion, and interactions with localized obstacles. Relevant experimental techniques to characterize dislocation-related deformations, work-hardening and recovery are also described. These topics are treated at a level suitable for graduate students in Physics, Materials Science or Chemistry.

Part II is more specifically focussed on dislocation motion and it is mostly phenomenological. The topic is treated separately for different materials, including: semiconductors, ceramics, (inter)metallic alloys, and quasi-crystals. Electron microscopy pictures are systematically used to discuss

the relevant features, reflecting the Authors scientific expertise.

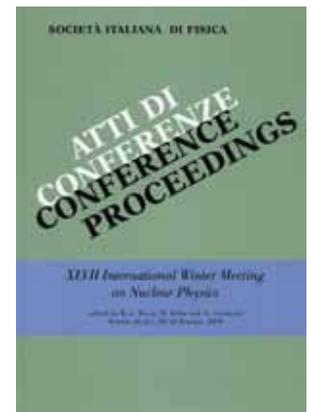
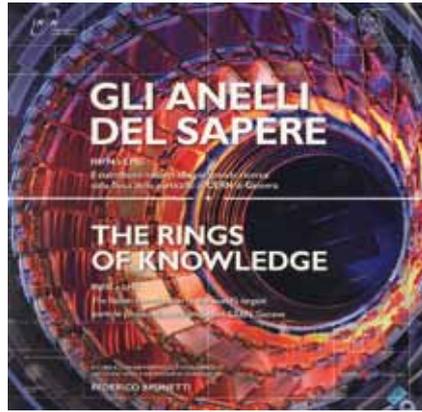
Interestingly enough, this book is associated to online supplementary materials corresponding to multimedia files on dislocation motion free to download at the Springer website: <http://extras.springer.com/2010/978-3-642-03176-2>. In my opinion, the videos are really very interesting and useful for teaching purposes: they represent a valuable addition to the more traditional hard-copy content. Please note that the downloadable file is large (more than 2Gb) and, therefore, a high-speed Internet connection is required.

The book is in general clearly written, although a little pedantic at times. I have to remark that some topics are developed at a very tutorial level (like, for instance, the elastic properties of dislocations, including the basic concepts of strain and stress), thus not providing a robust background. However, plots and figures are really very clear and effective.

One of the main weakness of this book is the absence of worked examples and exercises. I believe this is a major limitation, as far as this volume is considered as a possible textbook for a graduate course in dislocation physics.

In conclusion, the best way to approach this book is most likely to consider it as a "phenomenological introduction" – rather than a thorough treatment – to dislocation dynamics.

L. Colombo



F. BRUNETTI (EDITOR) – GLI ANELLI DEL SAPERE. INFN x LHC. IL CONTRIBUTO ITALIANO ALLA PIÙ GRANDE RICERCA SULLA FISICA DELLE PARTICELLE AL CERN DI GINEVRA. Testo: italiano/inglese; Editrice Abitare Segesta SpA, Milano, 2009; pp. 148; € 50,00

Chi lavora nei centri e nei laboratori di ricerca tende a delimitare la comunicazione dei propri risultati all'interno dell'ambiente dei colleghi che operano nello stesso campo. Nei casi in cui decida di presentare il frutto del proprio lavoro ai non addetti, non sempre riesce a esprimersi in modo chiaro, immedesimandosi in coloro ai quali è diretto il suo messaggio. È vero: il più delle volte si tratta di concetti complessi, difficili da esporre e tali che afferrarli occorre una buona preparazione e una grande capacità di astrazione. Una via di uscita? La metafora. Ma questa modalità comunicativa è pericolosa: può ingenerare inesattezze o imprecisioni che potrebbero dare adito a impetose critiche del Collega acquattato dietro l'angolo. Per semplificare il compito un'altra via d'uscita è l'uso di qualche "semplice" formuletta, di un paio di criptici acronimi e magari di qualche grafico corredato di simboli stampati con caratteri minuti che più minuti non si può. È, questa, una procedura sbrigativa, generalmente poco efficace. Ha però il pregio inestimabile di evitare gli anatemi del Collega.

Ben diverso è l'atteggiamento dell'INFN – Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. Questa istituzione, oltre al *sapere fare*, annovera nel suo Acido Desossiribonucleico – DNA – anche il merito di non sottovalutare l'importanza del *fare sapere*. Un fare sapere in forma chiara e accessibile, che assurge al ruolo di dovere civico quando l'oggetto della conoscenza è nientepopodimeno che l'LHC – il Large Hadron Collider –, il costosissimo, colossale anello sotterraneo lungo 27 chilometri, in cui nucleoni carichi leggeri o pesanti, accelerati fino a velocità assai prossime alla velocità della luce nel vuoto, collidono frontalmente arrivando così a riprodurre condizioni di temperatura e densità di materia simili a quelle verificatesi circa quindici miliardi di anni fa, col grande botto – il Big Bang – che ha segnato l'origine del Tempo e dell'Universo.

L'INFN ha affidato a una cabina di regia

controllata dall'architetto Federico Brunetti il compito di divulgare il contributo italiano alla più grande e impegnativa ricerca sulla fisica delle particelle, condotta da quella multinazionale degli "Anelli del sapere" costituita dal CERN – Centro Europeo di Ricerca Nucleare – di Ginevra.

Numerosi sono i nostri connazionali protagonisti della realizzazione dell'LHC nonché della complessa strumentazione e della conduzione degli esperimenti. Sono loro che firmano la presentazione di ATLAS, ALICE, CMS, LHCb, LHC Magnet Superconduttori, LHC L'Acceleratore, Grid, e illustrano con precisione, chiarezza ed entusiasmo, e non senza una punta di orgoglio, struttura, funzioni e obiettivi di questa architettura, concepita

- Per fare luce sull'enigma della materia oscura: "il materiale di cui siamo fatti – scrive Roberto Petronzio, Presidente dell'INFN – contribuisce solo per una decina di punti percentuali al bilancio della materia dell'Universo, e ancora meno al bilancio energetico più generale che ne governa l'evoluzione. Produrre artificialmente questa nuova forma di materia, della quale sentiamo la presenza solo dall'influenza che esercita sulla materia ordinaria [...] è una delle potenzialità del nuovo acceleratore associata all'esistenza di nuove simmetrie in natura, dette 'supersimmetrie'".
- Per fare luce sul meccanismo universale che conferisce una massa a tutte le particelle elementari note: un meccanismo legato all'esistenza del mesone di Higgs, "il Graal dei fisici da oltre trent'anni, che è stato ripetutamente cercato con il precedente acceleratore (Large Electron Proton Collider), il LEP".

Nel volume, ampio risalto è dato all'imponente sforzo tecnologico (in particolare nel campo dei magneti superconduttori e dei sistemi criogenici) che ha consentito la realizzazione dell'LHC e delle postazioni sperimentali. Un capitolo, interessante anche per le probabili ricadute nel settore delle telecomunicazioni – non dimentichiamo che è stato Sir Timothy John Berners-Lee l'informatico inglese che nel 1989, proprio al CERN, inventò il World Wide Web (WWW) – è dedicato alla Grid, una *griglia* gerarchica per l'archiviazione e l'analisi, distribuita nei cinque

continenti del globo, della enorme mole di dati raccolti dai rivelatori.

A conclusione del volume una serie di schede illustrano la significativa partecipazione di aziende italiane all'LHC.

La documentazione fotografica è eccezionalmente ricca. Ci introduce nei meandri delle installazioni sperimentali e ci aiuta sia a comprenderne prestazioni e ordini di grandezza sia a percepirne gli ammirevoli dettagli costruttivi. Da segnalare infine un'altra caratteristica del libro, il formato, 240 mm x 240 mm: la cornice quadrata di un quadro che si genera progressivamente a partire dal quadratino (1 cm x 1 cm), sviluppandosi in rettangoli e quadrati i cui lati sono commisurati ai termini della successione di Fibonacci. Questa intelaiatura di forme rettangolari e quadrate che delimitano testo, immagini e didascalie è il leit motiv della impaginazione dell'intero volume. La gabbia grafica (21 cm x 21 cm) di questo libro che tratta di una evoluta organizzazione socio-culturale complessa quale è il CERN, forse non a caso evoca, al limite, il numero aureo: quella struttura numerica che è il paradigma dell'auto-organizzazione e dell'autosomiglianza, entrambe ricorrenti sistematicamente nella struttura organizzativa di tutte le creature naturali.

G. Caglioti

R. A. RICCI, W. KÜHN AND A. TARANTOLA (EDITORS) – XLVII INTERNATIONAL WINTER MEETING ON NUCLEAR PHYSICS. Conference Proceedings. Vol. 99, SIF, Bologna, 2010; pp. XXIV + 242; € 75,00

In genere, il lavoro necessario alla stesura dei proceedings delle conferenze non viene premiato da altrettanto impatto nell'ambiente scientifico. Diciamoci la verità: nessuno o quasi legge i proceedings. Il libro in questione però, che raccoglie i contributi del XLVII Winter Meeting on Nuclear Physics tenutosi a Bormio nel gennaio 2009, contiene molti interventi degni di nota.

Il campo scientifico trattato è quello della fisica nucleare, a partire dalla spettroscopia

fino ad arrivare allo studio del charmonio, attraverso esperimenti per rivelare neutrini e materia oscura. Infatti, la peculiarità del congresso di Bormio, è di offrire una vasta panoramica sugli attuali temi di ricerca che interessano nuclei e particelle.

Partendo dal regime di energia più basso, temi come il gap di energia dovuto all'accoppiamento di "pairing" nello spettro di certi nuclei o lo studio di nuclei dotati un alone ("halo") di neutroni, pur essendo già stati approcciati nel passato restano incompleti sia dal punto di vista sperimentale che teorico. Attuali strategie sono discusse in questo volume.

Uno sviluppo trasversale della spettroscopia nucleare interessa la produzione dei cosiddetti "hypernuclei", nuclei dove un barione Λ ha sostituito un nucleone. Utilizzando le tecniche messe a punto nel campo della spettroscopia nucleare per misurare gli spettri di energia dei fotoni emessi dal nucleo, è possibile dedurre l'interazione Λ -nucleone. Questa tecnica è affiancata alla misura del decadimento debole oppure adronico degli "hypernuclei", per loro natura instabili. In questo volume troviamo il programma di misura proposto all'acceleratore MAMI in Germania per produrre hypernuclei per mezzo di fasci di elettroni.

Passando all'interazione mesone-barione, il laboratorio di Frascati porta avanti esperimenti di precisione unici al mondo per quantificare il potenziale attrattivo che si pensi esistere tra kaoni e nucleoni. Gli esperti non escludono l'esistenza di una forma legata di uno o più kaoni con più nucleoni, cosiddetti "clusters kaonici". Siddharta ed AMADEUS sono gli acronimi degli esperimenti proposti ed attualmente in via di sviluppo.

Se spostiamo l'attenzione sulla struttura degli adroni da una parte possiamo studiare se le loro proprietà intrinseche, come la massa e la vita media, possano subire modificazioni in presenza di materia nucleare densa e calda e, dall'altra, se queste modificazioni siano collegate con la restaurazione della simmetria chirale. Questo tema viene trattato tramite la presentazione dei recenti risultati della collaborazione HADES, che misura gli adroni prodotti in collisioni elementari ($p+p/d$) o di ioni pesanti ad energie intermedie (1-4GeV) al GSI. Un altro aspetto "adronico" trattato in

questo volume interessa la ricerca di nuovi aggregati della materia formati da gluoni e quarks insieme o da soli agglomerati di gluoni, chiamati "glueballs" o "ibridi". Queste particelle dai numeri quantici esotici vengono cercate per mezzo di molteplici esperimenti che possono accedere a stati quantici differenti. In questa raccolta viene discusso il vasto programma sperimentale appena cominciato in Cina per cercare hybrids e glueballs con il rivelatore BESIII posto in un collider di e^+e^- . All'orizzonte vediamo il nuovo centro di ricerca FAIR al GSI dove intensi fasci di antiprotoni renderanno possibile l'ulteriore ricerca di hybrids e glueballs e parallelamente la produzione di hyper-nuclei ancora più complessi tramite l'esperimento PANDA.

Agli albori dell'era LHC il programma scientifico di ALICE, ATLAS e CMS con particolare attenzione per le "hard probes" è stato presentato e con esso alcuni rapporti dettagliati dei rivelatori necessari a conseguire le misure desiderate.

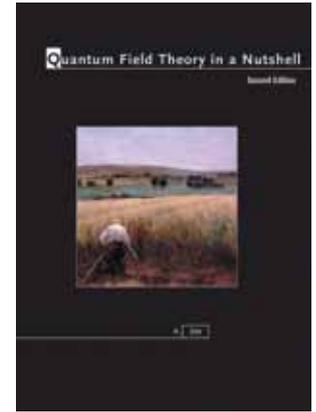
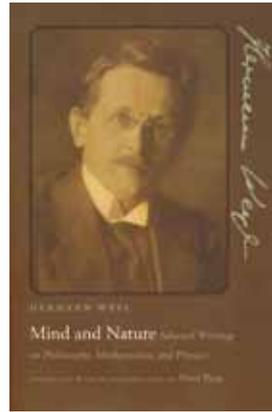
Chiaramente, una parte delle misure del day 0 di LHC si basano su idee scaturite dalle misure svolte ad SPS e RHIC. A riprova, il report delle misure di soppressione della J/Ψ in reazioni di ioni pesanti ad energie ultra-relativistiche qui presentato, fornisce una chiara panoramica della situazione attuale e suggerisce la direzione da prendere in futuro con CMS ed ALICE.

A parte LHC, al CERN si continua a produrre antimateria per carpirne le proprietà e lo status dell'esperimento ATHENA, preposto al momento alla misura dell'antiprotonium, viene qui illustrato. Dalla raccolta di questi contributi si evince l'impressione che il settore della fisica nucleare e subnucleare sia scenario di molteplici progetti innovativi che mirano a chiarire le problematiche legate da una parte alla struttura degli adroni e all'origine della loro massa e dall'altra all'interazione degli adroni stessi con la materia a loro circostante. Sulla scia della tradizione della conferenza bormina i risultati più recenti riguardanti queste domande fondamentali verranno sicuramente presentati nel gennaio del 2011 durante la prossima edizione. Insomma, da non perdere!

L. Fabbietti

HERMANN WEYL – MIND AND NATURE, SELECTED WRITINGS ON PHILOSOPHY, MATHEMATICS AND PHYSICS. Edito da e con un'introduzione di P. Pesic, Princeton University Press, 2009; pp. 261; \$35.00

Magnifica l'iniziativa della Princeton Academy Press di riproporre questa raccolta, curata da Peter Pesic, di scritti di filosofia, matematica e fisica di Hermann Weyl, sotto il titolo unificante di "Mind and Nature". Così si chiama il più importante dei saggi qui raccolti. Esso è in realtà una raccolta di lezioni che Weyl diede a Gottinga nel 1932, dove due anni prima era succeduto a Hilbert e che l'anno successivo, il fatale 1933, lascerà definitivamente alla volta di Princeton. Ritrovare questi particolari scritti di Weyl mi ha procurato grande emozione, e penso che la stessa emozione proveranno molti colleghi della mia generazione che a suo tempo, nell'avviarsi agli studi scientifici, avvertivano l'ancora persistente frattura tra scienza e filosofia. Quel solco, scavato dalla Controriforma e riaperto dalla riforma idealista degli studi superiori, conferiva il crisma della cultura alle sole discipline umanistiche e un puro valore strumentale al sapere scientifico. Con Weyl pensavamo invece che la fisica moderna, da Galilei ad Einstein e Dirac, così come la grande matematica di Gauss, Riemann e Hilbert (e lo stesso Weyl, aggiungerei) fornivano una nuova visione del mondo che la filosofia, quale la concepivano gli idealisti, non era, né sarebbe stata, in grado di dare. Per questo la scienza ci appariva, al di là delle applicazioni tecnologiche, una parte fondamentale e avanzata della filosofia. Del resto se la cultura è la capacità di produrre beni materiali e intellettuali finalizzati al benessere del genere umano, la scienza ne è parte integrante e insostituibile. L'abilità e profondità con le quali Weyl, grande matematico e fisico teorico, si inoltra nel terreno della filosofia ci appaiono ora come allora, straordinarie. Scontate la distanza dall'idealismo e l'antipatia per Heidegger, Weyl è stato profondamente influenzato dalla fenomenologia di Husserl, che pure aveva le sue radici nell'idealismo tedesco. Weyl aveva seguito le lezioni di Husserl a Gottinga prima che questi lasciasse la matematica per la filosofia. Per Weyl il



problema non si sarebbe mai posto, tanto scienza e filosofia erano in lui indistinguibili.

Oltre a "Mind and Nature", pubblicato in Pennsylvania nel 1934, la raccolta comprende un altro ciclo di lezioni, "The Open World" (1932), gli articoli "Electricity and Gravitation" (1921) e "Time Relations in the Cosmos, Proper Time, Lived Time, and Methaphysical Time" (1927); la prolusione per il bicentenario dell'Università di Princeton; due brevi saggi significativamente intitolati "Man and the Foundation of Science" (1949) e "The Unity of Knowledge" (1954) e il meraviglioso, toccante testamento spirituale "Insight and Reflection" del 1955, anno della morte di Weyl. Completano la raccolta due lettere, una di Einstein e una di Weyl. Sono una risposta al giornalista E. Bovet che si chiedeva come mai la conferenza pubblica tenuta a Zurigo nel maggio 1922 da Paul Langevin sulla relatività di Einstein avesse scatenato un incredibile entusiasmo nel pubblico, pur non avendoci (il pubblico) capito un'acca. Molto interessanti le risposte!

Non occorre aggiungere note specifiche, bastandoci l'eccellente recensione che di questo libro, così come del celebre saggio di Weyl "Philosophy of Mathematics and Natural Sciences" (Princeton University Press 2009), ha scritto da poco l'eminente filosofo di Cambridge Jeremy Butterfield su "Physics Today" (3/2010). La meditazione di Weyl sull'unità della conoscenza, che ci aveva confortato nei nostri primi anni di università, è anche una riconciliazione con quello strumento di esplorazione e conoscenza profonda dell'io che è l'arte. Non a caso Peter Pesic, curatore del libro e autore dell'eccellente introduzione, è Musician-in-Residence del St. John's College a Santa Fe. Pesic, tra le bellissime foto familiari di Hermann Weyl che corredano il libro, ne ha inserite due molto significative: una, inevitabile, con i celebri colleghi riuniti a Princeton per festeggiare i settant'anni di Einstein, l'altra a Sils in Engadina con un suo grande amico e omonimo, Hermann Hesse!

G. Benedek

A. ZEE – QUANTUM FIELD THEORY IN A NUTSHELL. SECOND EDITION. Princeton University Press, Princeton and Oxford, 2010; pp. XXVI + 576; \$75.00

Inside this "nutshell" there are 9 main parts and some appendices, totaling 576 pages; a Jurassic nut indeed. Remarkably, this big book is quite pleasant to read, also thanks to the agreeable colloquial style.

Actually Zee says he won the reluctance of the publisher to introduce jokes and anecdotes; there are also dialogues which are reminiscent of Galileo's, with *Confusio* as a new Simplicio and *Smart Experimentalist* as Salviati. He pretends to speak to a bright student who just completed a first course of Quantum Mechanics; by his book he embarks to provide a self-contained explanation of the key aspects of the theory, with the concepts, formal tools, examples and many applications, down to the latest findings. This appears to be a bold program, and the first attempt of this kind as far as I know.

Starting from the very beginning, he defines the propagator and introduces Feynman diagrams by the path integral formalism and then again by the canonical one; the theory is extended to curved space-times and digressions are made to low-energy applications like the Casimir effect. Then, Zee introduces the Dirac field and the Fermion path integral by Grassmann integrals. QED diagram rules, regularization and the degree of divergence are presented; unlike the usual treatments, the Faddeev-Popov method is introduced early to quantize electromagnetism. The anomalous magnetic moment and charge renormalization are discussed in some detail.

At this point the reader is ready for the "Mexican hat", the Nambu-Goldstone theory and spontaneous symmetry breaking, Yang-Mills and the Anderson-Higgs mechanism.

In part V, about half of the book, the presentation widens to a number of quite interesting elaborations in the field of collective and Condensed-Matter topics. Actually, the Landau theory of critical phenomena, the Meissner effect and the Peierls instability are briefly touched to show that the symmetry-breaking arguments apply.

The discussion of solitons and other non-perturbative phenomena is quite exciting. For example, Chapter V.7 deals with vortices, 't Hooft and Polyakov monopoles, instantons, the Kosterlitz-Thouless transition and black holes. These subjects belong to different and seemingly disparate contexts. However, Zee puts them together because they involve topological non perturbative objects that are not obtained by an expansion in Feynman diagrams. But the close-up is always on physical aspects. Incidentally, the author highlights very clearly the essentials of the Kosterlitz-Thouless transition in less than a page.

The very rich part VI is devoted to Condensed-Matter applications of topological field theory: quantum Hall effect (also the fractional one), magnetism, disorder. The discussion of the renormalization group is strikingly good.

Part VII stretches from electroweak to grand unification. Quantum chromodynamics is also covered; Zee observes that the key idea by 't Hooft of the large N expansion originates from Condensed-Matter Physics.

General relativity, that like an underground river surfaces at various points in most parts of the book, emerges in part VIII as a field theory which originates from the classical Kaluza-Klein ideas. The theory, however, is still incomplete and Zee pinpoints a number of paradoxes. The most striking problems are those concerning the cosmological constant since the current theoretical predictions are off by a factor 10^{124} . Part VIII closes with a brief chapter about Supersymmetry and an infinitesimal (so defined by the Author) introduction on string theory.

Section N is different. The last part is N rather than IX in order to stress the difference. Those are new developments, and indeed the Author claims that his is the first field theory book that shows results of the XXI Century. General relativity lately had promising new developments that seem to lead to the discovery of new and unsuspected connections with Yang-Mills and all gauge theories. The topics are hot and miscellaneous, but even here ideas (and conjectures) behind them are exposed with the usual effectiveness.

Having perused the book with care I find

that although some parts remain substantially harder than others, which is natural, the apparently ambitious task to provide a self-contained introduction to many advanced topics has been accomplished, and the result is a bright success. The book is also good for self-study. Despite the friendly tone, the reader must work hard but his efforts are highly rewarding. Zee points out that if you master the nutshell you actually know a lot on field theory and can get to do research.

The accomplishment is due to the exceptional ability of the Author, and his technique can be a paradigm for all of us, who teach hard subjects. Chapters are short, with proper sections. The concepts have precedence over calculation or computation, but there is no hand-waving, and all the technical details are given if they are necessary to understand. Zee also does all the algebra which is needed to firmly grasp the subject and introduces the techniques by showing how they work; but he cleverly interrupts long calculations, completing them by words. He rightly shows no fear of using abstract thought, or higher mathematics, but does not exceed in mathematical jargon and avoids unnecessary epsilons and deltas (too much rigor leads to *rigor mortis*, he says).

But, beyond tactics, it is his expound strategy which is optimal. He avoids the standard method, which consists in cutting the argument into small pieces and dropping it gradually to the student. This produces an abyss between the way the theory is explained and its actual functioning. Instead Zee gives a synthetic, working idea, which is much closer to what one thinks when using the theory. This is a lot better for the student, if the teacher is capable of this sort of communication. As a corollary, the rule is: always develop ideas through examples, using the simplest, rather than the most general case, to start with.

Zee's book presents many examples from various areas of research where the issue does not consist in a discrepancy in the second digit; the most interesting problems cannot be solved by mechanical discretization and by turning a handle, but there is an important qualitative work to do in the first

place. Progress is finally achieved by field theory using bold modeling and advanced mathematical methods. The nutshell is a resource against the growing risk of excessive specialization and automation of the research. Horizons are so wide because scientific curiosity is the real motivation and the same basic ideas can work for magnetism or particle physics.

This is evidently one of the best books on the subject, and actually one of the best theory books. I think that most physicists have a lot to learn from it and will enjoy its study very much. It is enhanced by a number of exercises, many of which solved. A web page should serve as corrigenda, but I could not find it for the second edition. Anyhow as far as I know the errors are rather few and harmless.

M. Cini

S. BALIBAR – L'ATOMO E LA MELA. DODICI STORIE DI FISICA CONTEMPORANEA. Bollati Boringhieri Editore, Torino, 2009; pp. 187; € 26,00

Sébastien Balibar non è soltanto il grande fisico dei solidi quantistici che molti di noi hanno la buona sorte di conoscere e ammirare. È anche un eccellente divulgatore della fisica, apprezzato da profani ed esperti. Sovente l'esigenza di farsi capire dal grande pubblico induce il divulgatore a semplificazioni e forzature che creano qualche disagio nei colleghi. Sébastien non ha questo problema. Il racconto delle sue esperienze scientifiche è preciso e rispettoso del rigore e del lessico al quale noi fisici siamo abituati, si da risultare sempre interessante e informativo riguardo al come e al quando sono state fatte certe scoperte. Tuttavia i caratteri che rendono questa raccolta di "storie della fisica contemporanea" molto apprezzata anche da chi non se ne intende sono lo stile avvincente della narrazione, i numerosi aneddoti, il sottile humour, la presenza costante di una prospettiva storica e soprattutto la felicità, la curiosità quasi infantile, la passione, la capacità

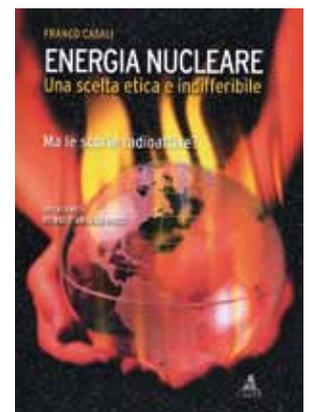
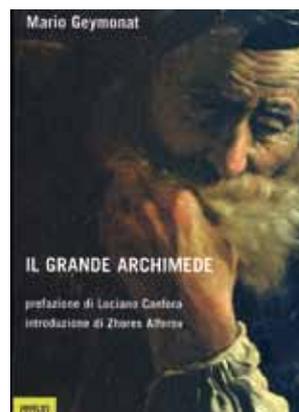
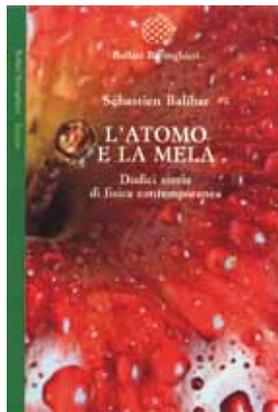
di immaginare e sognare che connotano il lavoro dello scienziato. Esso è certamente il mestiere più bello del mondo, capace di donare grandi soddisfazioni personali, così come molta consolazione e compagnia nei momenti di difficoltà e sconforto.

Il carattere autobiografico di molti episodi si concilia perfettamente con l'intenzione di raccontare la fisica che sta tra la mela di Newton e l'atomo di Dirac, tanto sono ricche l'esperienza professionale di Sébastien e la sua intelligenza del mondo circostante. Le dodici storie sono seguite da un prezioso epilogo: che cosa non so? Mi sia consentito di trascriverne la conclusione: "Voi che credete che la scienza sia incomprensibile, [...] che avete paura di essere ridicoli se non capite, [...] che sentite ancora la sofferenza causata da un insegnante dogmatico [...] che credete che le cose siano o vere o false e che lo siano per sempre, [...] che non osate porre domande ingenui, [...] vittime di quel terrorismo intellettuale che chiamiamo scientismo, è a voi che ho provato a rivolgermi, portandovi ai confini della scienza, impreziosendovi con qualche aneddoto, sperando soprattutto di trasmettervi la mia passione per la ricerca". La conclusione, che potrebbe sembrarci retorica se non l'immaginassimo intonata da uno chansonnier parigino, spiega lo scopo del libro, credo pienamente raggiunto. Impreziosiscono l'edizione italiana non solo gli aneddoti ma anche l'ottima traduzione (ho qui davanti "La pomme et l'atome" originale) di Davide Calonico.

G. Benedek

M. GEYMONAT: IL GRANDE ARCHIMEDE. Sandro Teti Editore, Roma, 2008; pp. 125; € 16,00

Scrivere l'ennesimo saggio divulgativo su Archimede è impresa rischiosa, tanto numerosi sono i luoghi comuni, gli aneddoti dubbi, le ricostruzioni fantasiose, le attribuzioni discutibili e le leggende che avvolgono



colui che possiamo considerare il più grande e geniale scienziato dell'antichità. Mario Geymonat ha scelto la strada più sicura, quella tracciata dalle fonti letterarie e storiche del passato classico e da una scelta accorta di studi recenti. Si scorrono le numerose note a piè di pagina per apprezzare il valore e la ricchezza dei testi ai quali l'autore fa riferimento. I fatti della vita e della tragica morte di Archimede sono noti, ma non altrettanto gli scritti di Plutarco, Tito Livio, Valerio Massimo e Cicerone che ne parlano, e procura emozione leggerne i frammenti dedicati al grande matematico. Così i capitoli dedicati da Geymonat agli studi di Archimede su π e le macchine semplici, sull'Eureka e "Sulla sfera e il cilindro" mantengono un carattere letterario alto e scevro da tecnicismi, corroborati anch'essi da ricche fonti letterarie dell'antichità. L'abilità di Archimede nel maneggiare grandi numeri e quindi di stimare il numero dei granelli di sabbia necessari a riempire l'Universo aveva suscitato incredulità nel mondo greco-romano, eppure non era mal riposta la fiducia che egli potesse aver numerato i granuli di cui è capace il mondo: "*Non illum mundi numerasse capacis harenas / vana fides*" (Silio Italico, circa 350 d.C.).

Forse ancora più interessanti sono le fonti antiche riguardo a vari memorabilia quali gli specchi ustori, le catapulte e le opere di ingegneria civile. Tra le tante fonti primarie e secondarie ne emerge una con gli scritti dello stesso Archimede, il codice scoperto a Istanbul nel 1906 in un palinsesto alto-medievale, scomparso e riemerso nel 1998 a New York, ora definitivamente custodito a Baltimora e finalmente trascritto, magnificamente tradotto in inglese da un illustre (e più che raro) matematico grecoista e pubblicato in anni recenti. Si tratta del "Metodo sui problemi meccanici". Benché della sua esistenza e contenuti ne parlassero diversi scrittori del passato, i metodi matematici e geometrici ivi illustrati lasciano stupefatti. Geymonat menziona il carteggio tra Archimede ed Eratostene, compagni di studi ad Alessandria: il "Metodo" è di fatto una lettera di Archimede all'illustre collega ed amico. Le lettere di Archimede sono raccolte in uno dei "Great Books" della Britannica, ed è peccato che non

ne siano pervenute le risposte.

Completa il volumetto di Geymonat un capitolo sul mito di Archimede, da Cicerone, che lamenta il cattivo stato della tomba di Archimede eretta presso Siracusa, all'Archimede Pitagorico di Walt Disney. Infine Geymonat rintraccia abilmente riferimenti ad Archimede nei grandi poeti latini del I secolo a.C. Particolarmente significative la prefazione di Luciano Canfora e l'introduzione di Zhores Alferov. Il pensiero su Archimede di Alferov, premio Nobel nel campo dei semiconduttori e nanotecnologie, è suggestivo. Il modo di fare scienza, di comunicare e discutere con i colleghi, di concentrarsi su un problema, considerando la ricerca il più affascinante e coinvolgente dei giochi, è rimasto intatto nei secoli e noi siamo (fatte le debite proporzioni per noi, meno per Alferov) come Archimede, e Archimede come noi. Abbiamo ben poco in comune con le usanze, le credenze e la visione della realtà del mondo greco-romano, e la stessa scienza è oggi immensamente più sviluppata. Ma Archimede, Eratostene, Aristarco e tanti altri grandi del passato parlavano la stessa nostra lingua e noi la loro.

Il libro è corredato da un indice dei nomi e delle cose notevoli e un buon numero di tavole. Fra queste si nota un'interessante inesattezza: la spirale lineare di Archimede (fig. 10) non va confusa con quella esponenziale del capitello ionico (fig. 9). Sebbene Galilei fosse un entusiasta ammiratore della spirale archimedea, quella ionica ha il pregio dell'autosimilarità (se fosse infinita apparirebbe sempre uguale a qualunque ingrandimento!), essendo essa la spirale naturale di molte conchiglie. Forse qualche altro matematico o artista greco ha notato questa mirabile proprietà, insita nei processi naturali di crescita. Ritournerà in matematica con Fibonacci.

G. Benedek

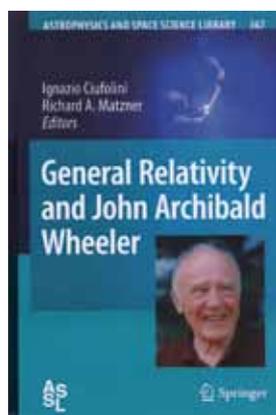
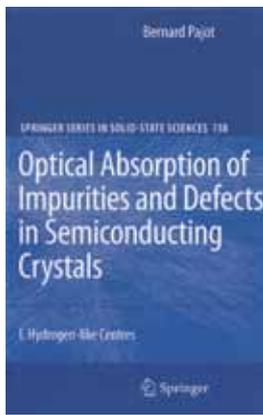
F. CASALI (PREFAZIONE DI R. A. RICCI) – ENERGIA NUCLEARE. UNA SCELTA ETICA E INDIFFERIBILE. MA LE SCORIE RADIOATTIVE? Clueb, Bologna, 2010; pp. 175; € 14,00

In questo libro Franco Casali, che ha legato la sua vita professionale all'energia da fissione – prima al CNEN, poi all'Enea e all'IAEA, e insegnando per oltre vent'anni fisica dei reattori nucleari all'Università di Bologna – racconta con grande competenza e passione cos'è l'energia nucleare e fornisce anche un utile compendio delle questioni energetiche. Dopo una breve storia dell'energia e delle varie fonti energetiche, l'autore illustra con chiarezza i concetti di energia, potenza, fattore di utilizzo e, per far capire come stanno le cose, introduce provocatoriamente anche una nuova unità di misura pratica di energia l'Eurostar-anno. Così ci spiega che, se si tiene conto del fattore di utilizzo, un impianto solare di 10 MW è in grado di far andare un Eurostar solo per due mesi all'anno.

L'autore prosegue con una panoramica dei consumi energetici per poi concentrarsi sulla fonte nucleare. Dopo aver confutato alcune false verità (non si costruiscono più reattori da quarant'anni; le risorse di uranio sono ridotte), Casali descrive sinteticamente i principali tipi di reattori nucleari e gli scenari evolutivi della tecnologia, si dedica quindi al problema della gestione dei rifiuti radioattivi e dei rischi associati all'uso dell'energia elettronucleare e termina con una disanima degli incidenti nucleari, con particolare riguardo a quello di Chernobyl.

Gli ultimi quattro capitoli del libro sono dedicati alle fonti rinnovabili, al risparmio energetico, all'impatto ambientale e al costo dell'energia.

Dopo un'analisi scientificamente corretta e documentata della situazione energetica, l'autore giunge alla conclusione, sintetizzata in modo netto e chiaro nel titolo del libro, che l'energia nucleare resta, per ragioni di scala e per motivi ambientali, una scelta etica e indifferibile. L'autore conclude il libro affermando che un ritorno al nucleare con



un programma serio e condiviso da tutti gli schieramenti politici è l'unica strada che permetterebbe di evitare il bruciamento di enormi quantitativi di combustibili fossili per produrre energia elettrica, asserendo infine che "non esiste un'energia tanto pericolosa quanto l'energia che manca."

Il libro è un riuscito tentativo di fornire un'informazione scientificamente corretta, basata su studi e documenti di organismi internazionali affidabili. La trattazione è piacevole e discorsiva. Il lettore attento e già esperto troverà una messe di dati oggettivi e confronti utili. Per quello meno attrezzato l'autore offre l'ausilio di metafore e similitudini. È un peccato che il libro soffra di una composizione grafica non ottimale. Le figure sono di scarsa qualità e risultano spesso poco leggibili a causa della riproduzione in bianco e nero di originali a colori; le didascalie (anche di alcune tabelle) sono spesso non complete; alcune scritte sono in inglese.

La figura in copertina è a mio avviso poco appropriata. L'immagine della Terra avvolta dalle fiamme, che vorrebbe evidenziare il riscaldamento globale del nostro pianeta, rimanda a scenari infernali e lascia fraintendere, involontariamente, che essi siano dovuti alle scorie nucleari che sono evocate con la scritta in bianco ben visibile sul fondo rosso con punto di domanda: "Ma le scorie radioattive?" Sarebbe stato meglio usare un'immagine meno inquietante per i lettori (anche coloro che senza comprare il libro guarderanno la copertina).

Enzo De Sanctis

B. PAJOT – OPTICAL ABSORPTION OF IMPURITIES AND DEFECTS IN SEMICONDUCTING CRYSTALS. HYDROGEN-LIKE CENTRES. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010; pp. XIX + 470; € 155,95

When Impurities Make Crystals more valuable.

The potential of semiconducting materials for solid state electronics (e.g. transistors), that is the undisputed technology behind nowadays microelectronics revolution, becomes evident in the years just after the World War II. It was clear just from those days that it is possible to modify locally the electrical

and optical properties of semiconductor materials by the addition of impurity atoms. This gave rise to the exponential development of electronics which is characterizing the modern society. The detailed characterization of such impurities and their effects on the materials properties was (and is) a fundamental theme for the development of solid-state electronics.

Depending on the energy and the properties of their electronic states, electrically active impurity centers in semiconductors are classified as shallow impurities (or H-like centers) and deep centers. Shallow impurities are the main responsible for the change in conductivity of the materials. In short, H-like centers in a crystal can be visualized as a fixed ion, with a positive or negative charge interacting through a screened Coulomb potential with a negative (electron) or positive (hole) charge able to move in the crystal. The first volume of "Optical Absorption of Impurities and Defects in Semiconducting Crystals" deals with the characterization by optical absorption spectroscopy of this type of impurities thus leaving the treatment of the deep centers to a following volume. The author, Bernard Pajot, is an internationally renowned experimentalist who made a number of significant contributions. He is working in the field from its beginning, thus being able to provide a comprehensive and up-to-date overview of the field.

As a matter of fact, the optical spectroscopy of impurities may be considered a rather special branch of solid state physics, essentially restricted in both materials types (semiconductors with H-like centers) and experimental techniques (optical absorption). Nevertheless this book is not a treatise for specialists only. The characterization and control of doping in semiconducting materials is a fundamental issue for materials and device fabrication. The non-destructive analysis of the physical properties of the H-like impurities in electronic materials by optical spectroscopy is one of the major tools presently available to the experimenter to guide the development of new material processes. This becomes even more important now that photovoltaic industry pushes for more efficient, low-production-cost materials for power generation. Thus the book constitutes a valuable resource for linking the development of materials characterization for micro- and

opto-electronics with the new needs of the growing photovoltaic industry.

The matter is well explained, including experimental and theoretical foundations. The book contains a detailed description of the optical absorption spectra of H-like centers in semiconductors and a comprehensive and extensive bibliography. This makes the book a very useful manual for researchers, from graduate to higher levels, and for experimentalists who want to enter the subject. Because the author witnessed most of the development of techniques and interpretation of the presented material, the book thus constitutes a good resource for linking the historic development of semiconductor materials characterization for micro and optoelectronics to the new needs of the growing photovoltaic industry. The book outline is well balanced between introductory, student level chapters on experimental and theoretical backgrounds and the detailed, research-oriented chapters on materials properties. The books should find a place in the bookshelf of every researcher interested in semiconductor materials and devices fabrication, since the chance of overlooking research already done and "rediscovering" well-established results is always around the corner.

S. Sanguinetti

I. CIUFOLINI AND R. A. MATZNER (EDITORS) – GENERAL RELATIVITY AND JOHN ARCHIBALD WHEELER. ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE LIBRARY, Vol. 367. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2010; pp. XIII + 545; € 124,75

Il volume nasce dalle presentazioni ad una Scuola di Erice, bella e di successo, del Giugno 2006 "International School on Astrophysical Relativity 'John Archibald Wheeler'", a cui sono stati aggiunti alcuni interessanti saggi. Il tema è azzeccato: la rinascita della Relatività Generale che oggi viviamo e il cui principale iniziatore negli anni '50, per unanime riconoscimento della comunità, è stato appunto Wheeler. Da una specie di matematica applicata, con scarso interesse ai pochissimi test sperimentali, nella convinzione

che gli effetti "fisici" fossero in pratica trascurabili, e dove si dubitava della reale esistenza delle onde gravitazionali, oggi la Relatività Generale si ritrova con una messe di eleganti esperimenti e osservazioni a provarla, ad essere cruciale in astrofisica e cosmologia, a stimolare la ricerca delle onde gravitazionali – che sicuramente esistono come hanno mostrato Hulse e Taylor, premi Nobel nel 1993, con un gran numero di importanti applicazioni nella geodesia, nel VLBI – Very Long Base Interferometry, fino ad entrare nella vita quotidiana con il GPS, il navigatore satellitare che abbiamo in auto e che non funzionerebbe, se non si fosse utilizzata la Relatività Generale al posto della Gravitazione Newtoniana.

È impressionante vedere, nel bel saggio di Charles Misner, i nomi degli allievi di Wheeler nelle due decadi della sua permanenza a Princeton e della successiva decade ad Austin, Texas: a decine sono emersi come scienziati di rilievo internazionale e pionieri di varie branche della Relatività Generale, "vera fisica" quale è diventata. Per un appassionato del campo, è di grande interesse vedere lo sviluppo storico attraverso i saggi, oltre quello citato di Misner, di Kip Thorne e Wojciech Zurek, e di Pfister.

Il libro ha in realtà due anime, che però su argomenti cruciali si incontrano felicemente: una dedicata alla discussione su basi teoriche di test ed esperimenti e osservazioni astrofisiche e l'altra a questioni più specificamente sperimentali. L'incontro felice avviene in particolare coi saggi di Clifford Will sul confronto tra teoria ed esperimenti, di Richard Matzner, che dà una elegante introduzione alle onde gravitazionali, di Neil Ashby, con la sua trattazione della costruzione ed uso di coordinate "quasi-inerziali", adatte a trattare, con trasparenza sulla fisica, le osservazioni di precessione di Thomas e geodetica e i cosiddetti effetti "gravitomagnetici", di Ignazio Ciufolini *et al.*, che ci danno una rigorosa introduzione al "gravitomagnetismo" e ne presentano poi la prima misura mai realizzata, ottenuta con i satelliti LAGEOS con un'accuratezza di circa il 10 %.

Sul lato unicamente sperimentale è un piacere leggere i saggi di John Anderson *et al.* sulle prove sperimentali della deflessione dei raggi di luce da parte del Sole da Eddington al VLBI dei giorni nostri, di Adalberto Giazotto, che ci dà un eccellente panorama dello stato e prospettive della ricerca delle

onde gravitazionali, con una analisi della strumentazione a terra di rara profondità e completezza. Guido Pizzella ci dà una rivista dei metodi seguiti dai rivelatori criogenici di onde gravitazionali, soprattutto nella prima parte della loro lunga storia. Poi Ignazio Ciufolini *et al.* ci aprono alle potenzialità della missione LARES, che presto partirà col nuovo lanciatore Europeo VEGA, ed esplorerà ad un ordine di grandezza di maggiore precisione il campo "gravitomagnetico" generato dalla Terra in rotazione. Sascha Buchman dà una esauriente descrizione della – conclusa nel volo, ancora in analisi dati – missione GPB, "Gravity Probe B", che intanto ha misurato all'1% sul giroscopio in orbita l'effetto di precessione geodetica di DeSitter. Guglielmo Tino ci apre alla rilevanza dell'uso di interferometria atomica e orologi atomici ottici per misure della costante gravitazionale e per misure di precisione nello spazio ed a terra.

Questioni teoriche toccano da una parte l'astrofisica e la cosmologia relativistica e d'altra parte alcune questioni che riguardano i fondamenti della Relatività Generale. Da una parte Igor Novikov *et al.* si collegano direttamente alla proposta di Wheeler sui "wormholes" per esplorarne l'attualità nell'astrofisica corrente, mentre Leonid Grishchuk discute in dettaglio come si possano trovare onde gravitazionali primordiali nella radiazione cosmica di fondo. James York d'altra parte dà un lucido saggio sul problema delle condizioni iniziali. Infine gli interessanti saggi sul gravitomagnetismo di Robert O'Connell e Sergei Kopeikin, sulle onde gravitazionali di Gaetano Vilasi e sullo stato della cosmologia di Vladimir Lukash.

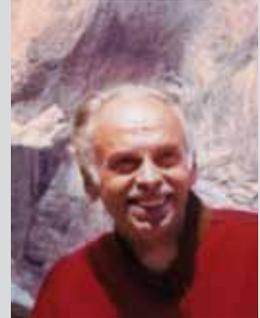
Questo volume, così in maggioranza dedicato a tematiche sperimentali e osservative, come nell'indentimento del I Corso della detta Scuola, è di indubbio rilievo ed interesse nel panorama editoriale su questi aspetti della Relatività Generale contemporanea.

M. Cerdonio

a cura di Giorgio Benedek

IN RICORDO DI

Giorgio Comini



Bologna, 8 marzo 1915 -
Bologna, 10 Ottobre 2010

R. A. Ricci e S. Focardi

Publicato online
16 febbraio 2011

SCELTI PER VOI

L'ETÀ DELLA TERRA

Ci vollero cinquant'anni perchè fisici e naturalisti trovassero un accordo sull'età della Terra. Il disaccordo iniziò molti anni fa: verso il 1860: i fisici attribuivano alla Terra cinquanta milioni di anni, mentre geologi e naturalisti stimavano l'età del nostro pianeta in centinaia di milioni di anni. La stima dei geologi era basata sull'osservazione e sull'analisi di differenti strati geologici, sul valore dei tassi di sedimentazione e sullo studio dei fossili.

La teoria di Darwin, di una evoluzione per selezione naturale, presupponeva una Terra sufficientemente vecchia da permettere ad organismi complessi di evolvere per variazione e per selezione. Su queste basi, la prima valutazione di Darwin fu di trecento milioni di anni, rivista al rialzo in seguito. Secondo Lord Kelvin, le leggi di Fourier sul trasporto del calore suggerivano che l'età della Terra (come pure quella del Sole) fosse al massimo dell'ordine del centinaio di milioni di anni! I geologi, che all'epoca non disponevano di alcun metodo che permettesse di costruire una scala temporale precisa per la stima del tempo, si arresero di fronte alle argomentazioni di Lord Kelvin. Lo stesso Lyell, autore di un'opera sui principi della geologia, che aveva proposto nella edizione stampata nel 1867 il valore di 240 milioni di anni per l'età della Terra, tolse questa stima nelle edizioni successive della sua opera.

Il dibattito continuò fino all'inizio del secolo successivo fra due schieramenti rivali, con i geologi che attribuivano alla Terra un'età di un centinaio di milioni di anni e Kelvin che, continuando a occuparsi del problema proponeva un'età nell'intervallo fra 20 e 40 milioni di anni! Fu Rutherford che, sulla base dei risultati sperimentali ottenuti dai coniugi Pierre e Marie Curie, cui va il merito di avere scoperto il fenomeno della radioattività, dedusse che gli elementi radioattivi presenti nella crosta terrestre, dovevano in effetti riscaldare la Terra. Questa, anzichè raffreddarsi continuamente, come riteneva Kelvin, poteva conservare una temperatura costante per milioni di anni. Kelvin non accettò mai la spiegazione di Rutherford, ritenendo che l'effetto della radioattività non fosse sufficiente a spiegare l'assenza di un fenomeno di raffreddamento della Terra.

A questo proposito, la frase scritta nella sua autobiografia, da un altro grande della fisica, Max Planck spiega come in questo e in tanti altri casi vanno a finire le cose:

"Una nuova verità scientifica non trionfa convincendo i suoi oppositori, mostrando loro la luce, ma piuttosto perchè gli oppositori finiscono per morire, una nuova generazione cresce e acquista familiarità con la nuova teoria!"

Il metodo scientifico per stimare l'età della Terra fu in seguito proposto da Rutherford mettendo in evidenza che la misura del contenuto di elio, presente nei minerali di uranio, e del tasso di formazione dell'elio nel processo di decadimento dell'uranio, permetteva di stimare l'età del minerale.

Questo metodo ha permesso di concludere che l'età della Terra è attorno ai 4,5 miliardi di anni.

La Recherche, 434, ottobre 2009, p. 92

IN VIAGGIO PER MARTE

In aprile del 2010 il presidente degli Stati Uniti, Barack Obama, ha annunciato che la prossima destinazione degli astronauti della NASA, tra una quindicina di anni, sarà un asteroide. Lo scopo sarà quello di acquisire esperienza per usare tappe intermedie, nel viaggio dalla Terra verso Marte. Prima di posarsi sull'asteroide, il veicolo spaziale dovrà inserirsi in un'orbita attorno ad esso; l'unica possibilità di far questo richiede che nel momento in cui la distanza del veicolo dall'asteroide risulti minima, il moto dell'asteroide sia assai simile a quello della Terra.

Una analisi condotta sui circa 1200 oggetti che si trovano nelle vicinanze della Terra ha permesso di selezionarne soltanto quarantadue che soddisfano al criterio precedentemente enunciato. La velocità di rotazione della maggior parte di questi non si conosce, per cui non si può decidere quali siano potenziali basi di sosta. Ciò rende necessario che si incrementi l'attuale numero di quarantadue. I telescopi dell'osservatorio delle Hawaii, recentemente resi operativi, dovrebbero permettere di accrescere sensibilmente la lista dei candidati. Tuttavia per i telescopi terrestri questa ricerca è ostacolata dal fatto che gli asteroidi che orbitano attorno alla Terra sono resi invisibili dalla abbagliante luce del Sole. Una alternativa potrebbe essere quella di lanciare un telescopio nello spazio, in orbita attorno al Sole, nelle vicinanze di Venere, che potrebbe osservare dall'esterno gli asteroidi in orbita attorno alla Terra.

Restano altri problemi, forse ancor più difficili, da superare. Infatti per la forma irregolare della loro superficie, il campo di gravità degli asteroidi risulta tale da rendere caotico il moto attorno ad essi della navetta spaziale. Infine, le piccole dimensioni degli asteroidi finora identificati come possibili basi di sosta, che sono nella regione fra 10 e 40 metri, rendono assai problematica la manovra di discesa spaziale della navetta e presumibilmente la successiva partenza per raggiungere Marte.

New Scientist, 1 maggio 2010, p.12

GEOTERMIA PROFONDA

Nella campagna alsaziana, 50 chilometri a nord di Strasburgo, una collaborazione franco-tedesca è impegnata per ottenere calore dalle rocce sotterranee con una centrale geotermica di nuovo tipo. Le centrali geotermiche si trovano normalmente nei pressi di sorgenti vulcaniche dove sono presenti rocce calde e fluidi che circolano. In questo caso, non esistono vulcani nelle vicinanze: questo sito pilota costituisce un riferimento, a livello mondiale per sviluppare la geotermia ad alta temperatura, detta per stimolazione (e indicata con l'acronimo EGS che sta per Enhanced Geothermal System).

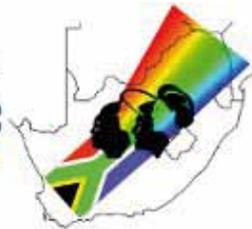
Quando fu effettuata la scelta del sito, si sapeva che nella regione esisteva una anomalia termica consistente in un aumento di temperatura di 10 °C per ogni 100 metri di profondità, anzichè 4 °C normalmente presenti nelle vicinanze della superficie terrestre. I primi pozzi scavati a scopo esplorativo confermarono le aspettative, avendo trovato una temperatura di 50 °C a 400 metri di profondità e di 100 °C a 1000 metri. Estrapolando verso il basso tali dati, la zona avrebbe dovuto avere a 2000 metri di profondità una temperatura di 200 °C, ideale per scaldare l'acqua da inviare in una turbina connessa ad un generatore elettrico. Lo schema di principio è assai semplice: l'acqua iniettata dalla superficie verso il basso circola nel sottosuolo dove si riscalda a contatto delle rocce per essere poi recuperata con un secondo pozzo, grazie ad una pompa. Come ulteriore vantaggio, si riteneva che l'iniezione di acqua a 100 bar di pressione avrebbe prodotto fratture delle rocce tali da permettere una migliore circolazione sotterranea dell'acqua.

In realtà risultò che per trovare acqua alla temperatura di 200 °C si rese necessario scavare nuovi pozzi fino a raggiungere la profondità di 5000 metri. Una seconda sorpresa fu la presenza di acqua nel sottosuolo che fu chiara quando, malgrado il volume di acqua recuperata fosse uguale a quello dell'acqua immessa, risultò che solo il 30% dell'acqua immessa tornava all'esterno; la restante parte, che conteneva 100 grammi di sale per litro, proveniva dal sottosuolo.

Inoltre è risultato che la frattura delle rocce provoca sismi di lieve entità che tuttavia provocano preoccupazione alle persone che abitano nella zona,

La Recherche, febbraio 2010, p. 62

a cura di Sergio Focardi



4TH IUPAP INTERNATIONAL CONFERENCE ON WOMEN IN PHYSICS 5-8 April 2011

<http://www.acitravel.co.za/icwip2011>

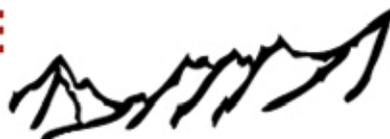
EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPLEX SYSTEMS

June 26 - July 1, 2011

Boston Marriott, Quincy, MA, USA
New England Complex Systems Institute

<http://www.necsi.edu/events/iccs2011/>

ÉCOLE DE PHYSIQUE
des HOUCHES



<http://houches.ujf-grenoble.fr/>

**Quantum Machines Measurement and
Control of Engineered Quantum Systems**

4-29 Luglio 2011

**Theoretical physics to face the
challenge of LHC**

1 - 26 August 2011



International Europhysics Conference on High Energy Physics
Grenoble, Rhône-Alpes France July 21-27 2011

European Physical Society

HEP 2011



Aquarelle :
Boris Beluche

Editing :
C. Favro - LPSC Grenoble

DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
ITALIAN PHYSICAL SOCIETY MEMBERSHIP APPLICATION FORM

2011

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:
Address where Bulletin and Society communications are to be sent:

a

b

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 € 45,00
INDIVIDUAL Member
- Socio JUNIOR al di sotto dei 30 anni € 25,00
JUNIOR Member under 30
- Socio INDIVIDUALE anche membro di altre associazioni scientifiche relative alla fisica (**) € 35,00
INDIVIDUAL Member also member of other scientific associations (**)
- Socio COLLETTIVO € 260,00
COLLECTIVE Member
- Socio SOSTENITORE (a partire da) € 310,00
SPONSORING Member (starting from)

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

Per diventare Socio SIF:

Informazioni: <http://www.sif.it/SIF/it/portal/associazione>

Quote sociali 2011 della Società Italiana di Fisica

- | | | |
|---|----------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Socio Individuale | € 45,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Junior al di sotto dei 30 anni | € 25,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica relativa alla fisica (*) | € 35,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Collettivo | € 260,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio Sostenitore (a partire da) | € 310,00 | <input type="checkbox"/> |

(*) 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"

- | | | |
|--|---------|--------------------------|
| <input type="radio"/> Socio | € 20,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio al di sotto dei 30 anni | € 15,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Socio in pensione | € 15,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Studente | € 15,00 | <input type="checkbox"/> |
| <input type="radio"/> Insegnante (pre-universitario) | € 15,00 | <input type="checkbox"/> |

Modalità di pagamento della quota sociale alla SIF:

- online a mezzo carta di credito, tramite collegamento diretto e sicuro (POS) con la banca BNL, attraverso l'Area Soci del sito web della Società Italiana di Fisica
- a mezzo assegno bancario
- a mezzo bonifico postale:
BancoPosta, IBAN: IT14 G076 0102 4000 0001 9197 409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.
- a mezzo versamento sul c/c postale n. 19197409
intestato a: Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F.
- a mezzo carta di credito, tramite la Società Italiana di Fisica, compilando e spedendo il modulo sottostante (**)

(**) In questo caso sono escluse le carte Diners e American Express.

Compilare e spedire a :

Società Italiana di Fisica – Via Saragozza 12 – 40123 Bologna – fax 051 581340

Il sottoscritto: _____

Nato a: _____ il _____

Residente a: _____

Via: _____ n. _____

Documento di riconoscimento: _____ n. _____

Rilasciato da: _____ il _____

Titolare carta di credito **VISA** n. _____

Scadenza _____

Titolare carta di credito **MASTERCARD** n. _____

Scadenza _____

AUTORIZZA

La Società Italiana di Fisica

A prelevare dalla carta di credito sopra descritta

L'importo di € _____ (_____)
(importo in cifre) (importo in lettere)

Data _____

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003

si no

_____ Firma

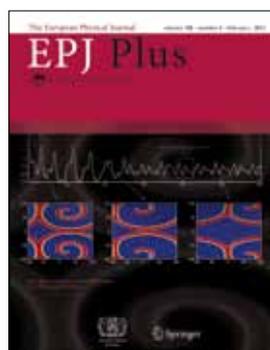
Sono già pubblicati online i primi tre fascicoli della rivista EPJ Plus che è la continuazione de Il Nuovo Cimento B.

1



Focus Point (5 articoli):
 "Major Advances in High Energy Physics Software"

2



Focus Point (3 articoli):
 "Electromechanical Properties of Soft Tissues"

3



Per ulteriori informazioni
www.epj.org

ERRATA CORRIGE

Nel fascicolo no. 4-5 del vol. 26, 2010 sono presenti i seguenti errori:
 p. 3, nell'editoriale in italiano, 2011 deve leggersi 2010 e 2012 deve leggersi 2011 tutte le volte che appare;
 p. 75, nella seconda riga del titolo deve leggersi XCVI al posto di XCV;
 p.110, colonna 2, riga 38 e p. 111, colonna 1, riga 36, deve leggersi torinese al posto di pesarese.

Innovazione e Tecnologia

NANOPositioning - MOTION CONTROL
 PIEZOTECHNOLOGY



PILine® - Posizionatore con Motore Piezo

- + Design Compatto
- + Velocità fino a 400 mm/s
- + Risoluzione Sub-Micrometrica



NEXLINE® PiezoWalk® Precisione ed Elevata Capacità di Carico

- + Forza di spinta fino a 500 N
- + Accuratezza Sub-Nanometrica
- + Elevata Dinamica



Assi Motorizzati Flessibilità e Precisione

- + Corse fino a 300 mm
- + Capacità di Carico fino a 100 Kg.
- + Combinabili in XY e XYZ



Sistemi Piezoelettrici Multiasse

- + Sistema di guida a Flessione ad alta precisione
- + Piezo PICMA® per una maggiore Life Time
- + Elevata Dinamica

Nel corso degli ultimi quattro decenni PI è diventata il principale produttore nel settore del Micro e Nano Posizionamento. Tutte le tecnologie chiave vengono sviluppate internamente. Ogni fase, dalla progettazione fino alla spedizione può quindi essere controllata.

Grazie alle sue numerose filiali PI è in grado di soddisfare tempestivamente le richieste dei propri clienti in diversi settori HI-Tech.

Per informazioni: info@pionline.it - www.pionline.it

Physik Instrumente S.r.l. - Telefono +39 66501101

MOTION CONTROL & OPTICS

applicazioni in vuoto, UHV
criogenia e spazio



micro e nano
posizionamento



ottica

QI OPTIQ
Photonics for Innovation





MAXIMIZE YOUR CAPABILITIES BY USING OURS.

As the photonics leader, we are here to make your job easier.
We can help you by providing:

- Expertise
- Breadth
- Collaboration
- Innovation

CVI *Melles Griot*
AllThingsPhotonic.com

Lasers | Lenses | Mirrors | Assemblies | Windows | Shutters | Waveplates | Mounts
Americas +1 505 296 9541 | Europe +31 (0)316 333041 | Asia +81 3 3407 3614

CAEN Silicon PhotoMultiplier Kit

The all-in-one solution for Single Photon Counting and Spectroscopy Applications

Two versions available: Educational Kit, Evaluation Kit

CAEN realized a modular development kit dedicated to Silicon Photomultipliers, representing the state-of-the-art in low light field detection with photon number resolving capabilities.



Desktop Digitizer

(DT5720A)

- 2 Channel 12bit 250 MS/s Digitizer
- Digital Pulse Processing for Charge Integration DPP - CI
- Best suited for PMT and SiPM/MPPC readout at low and high rates
- Mid-High speed signals (Typ: output of PMT/SiPM)
- Good timing resolution with fast signals (rise time < 100 ns)
- Optical Link and USB 2.0 interfaces



2 Channels General Purpose Amplifier and Power Supply Unit

(SP5600)

- Variable amplification gain (up to 50 dB)
- Low noise, not to spoil the sensor performances for small signals
- Wideband, to comply with the fast sensor response
- Fast leading edge discriminator and time coincidence
- Provides the bias for the sensors with gain stabilization
- USB 2.0 interface
- Mechanical structures with two embedded SiPM 1 x 1 mm²



Led Driver

(SP5601)

- Width of pulse 3 ÷ 60 ns
- LED color: violet (400nm) 1500 mcd
- Pulse generator: internal/external
- Optical output connectors: FC
- Optical fiber included



Scintillating Tile

(SP5602)

- Sensitive volume: 100 x 100 x 10 mm³
- Scintillator: polystyrene
- Light guide: embedded WLS fiber
- Output connectors: FC



Mini Spectrometer

(SP5603)

- Mechanical structure for optimal SiPM to crystal coupling
- Crystal dimensions: 3 x 3 x 15 mm³
- Included crystals: LYSO, BGO, CsI
- One SiPM 3 x 3 mm² embedded

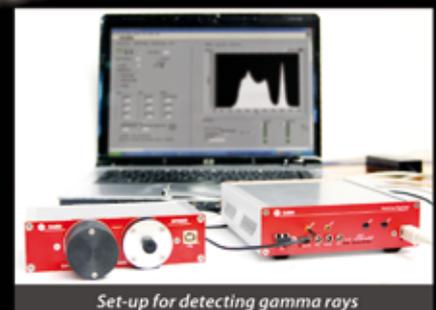
Control Software included



Set-up for SiPM testing & characterization



Set-up for detecting cosmic rays and β particles



Set-up for detecting gamma rays

The different building blocks can be assembled in a customized configuration, according to the specific application and the user's requirements. Upon request, sensors from the main producers can be provided, fully integrated in the mechanical structures.

The kit was developed within the EC-FP6 project RAPSODI, licensed to CAEN by the Research & Technology Development parties.