

HANNO COLLABORATO A QUESTO
NUMERO:

M. Artoni, G. Barbiellini, A. Bazzani,
S. Bergia, A. Bettini, P. Caraveo,
P. Castrucci, L. Cifarelli, E. Coccia,
E. Costa, M. De Crescenzi, G. Di Cocco,
A. Di Virgilio, G. Dragoni, S. Focardi,
G. Giacomelli, R. Giacomelli,
P. Giommi, B. Giorgini, G. La Rocca,
M. Lodi, E. Longo, F.-L. Navarra,
G. Pagliaroli, G. V. Pallottino,
P. Picozza, M. Pignanelli, S. Rambaldi,
R. A. Ricci, P. Rossi, E. Sassi, M. Scarselli,
C. Scilletta, M. Tavani, F. Tombolini,
F. L. Villante, F. Vissani

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 25 • N. 3 maggio-giugno 2009 • N. 4 luglio-agosto 2009

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORI
Sergio Focardi
Giuseppe Grosso

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

SOMMARIO

3 EDITORIALE / EDITORIAL

SCIENZA IN PRIMO PIANO

5 **Neutrini dallo spazio**

G. Pagliaroli, F. L. Villante, F. Vissani



19 **Unique and exciting nanostructures**

M. De Crescenzi, C. Scilletta,
F. Tombolini, M. Scarselli, P. Castrucci

30 **Photons on a leash**

G. La Rocca, M. Artoni

41 **The AGILE space mission**

M. Tavani, G. Barbiellini, P. Caraveo,
E. Costa, G. Di Cocco, P. Picozza,
P. Giommi

FISICA E...

49 **Fisica della città**

A. Bazzani, B. Giorgini, S. Rambaldi

PERCORSI

57 **Marconi's work: "was it true glory?"**

G. Dragoni, M. Lodi



IL NOSTRO MONDO

69 **XCV Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica** **Programma Generale**

72 **Quando la terra trema**

A. Bettini, E. Coccia

79 **20 anni di www**

F.-L. Navarra

87 **PHYSWARE**

E. Sassi

[News](#)

93 **Breve cronaca del Council EPS 2009**

A. Di Virgilio

94 **Riforma dei settori scientifico-disciplinari: a che punto siamo**

P. Rossi

[Intervista](#)

95 **a Carlo Rizzuto**

L. Cifarelli

[In ricordo di](#)

96 **Ileana Iori**

R. A. Ricci, M. Pignanelli

97 **OPINIONI**

98 **RECENSIONI**

101 **SCELTI PER VOI**

102 **ANNUNCI**

MODALITÀ DI ISCRIZIONE ALLA SIF

Per iscriversi occorre presentare domanda di associazione con un breve curriculum scientifico e l'indicazione di due Soci presentatori.

La domanda di associazione può essere fatta online (oppure scaricando l'apposito modulo di associazione, pubblicato anche in ultima pagina) all'indirizzo: <http://www.sif.it/SIF/it/portal/associazione>.

La domanda verrà poi esaminata ed eventualmente approvata dal Consiglio di Presidenza.

Il pagamento della quota sociale, nei modi sotto indicati, dovrà avvenire dopo aver ricevuto comunicazione della accettazione a Socio.

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale può essere effettuato:

- Online nell'Area Soci del sito web della SIF; in questo caso si utilizza la carta di credito, con collegamento diretto e sicuro al sito della Banca Nazionale del Lavoro (BNL).
Ricordiamo che l'Area Soci è un'area protetta per accedere alla quale occorre utilizzare username e password che vengono inviati a tutti i Soci. (Per accedere agli altri servizi 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 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 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.

Con questo breve Editoriale su IL NUOVO SAGGIATORE, vorrei innanzi tutto ringraziare tutti coloro che con il loro assiduo impegno stanno concretamente contribuendo alla crescita della SIF. Il numero dei Soci è in aumento e, per la prima volta in molti anni, abbiamo ricevuto una "valanga" di oltre 200 domande di partecipazione ai nostri vari concorsi a premi, soprattutto da parte dei giovani, a riprova della nuova linfa e vitalità della nostra Società. Abbiamo portato avanti nel corso del 2009 tante iniziative in parte a voi già note:

- per promuovere e sostenere l'insegnamento della fisica nella scuola, nel quadro della riforma in atto;
- per diffondere una corretta informazione scientifica su alcune tematiche "scottanti", come l'energia;
- per ottenere il riconoscimento della professione fisico;
- per attivare un forum allargato di discussione sulle attuali tematiche e problematiche dell'università e della ricerca;
- per meglio inserire la SIF nel contesto europeo e internazionale delle altre società scientifiche, anche in un'ottica di interdisciplinarietà;
- per migliorare e rinnovare la nostra editoria scientifica.

Abbiamo attivato un conto corrente bancario per raccogliere donazioni a favore della rinascita della fisica a L'Aquila, dopo il terribile sisma che ha colpito la città e la sua università. Abbiamo istituito la figura del "refente locale della SIF" nelle varie sedi (università, centri, laboratori), allo scopo di migliorare i rapporti

della SIF con il territorio.

Abbiamo intensificato la collaborazione con l'AIF e con altre società o associazioni di fisica a noi vicine. Abbiamo stabilito numerosi i contatti e interazioni con i nostri rappresentanti al CUN, con i presidenti dei consigli di corso di laurea in fisica, con i direttori di dipartimento, con i rappresentanti degli enti di ricerca. Prosegue l'azione congiunta con i chimici su vari fronti: dall'energia alla didattica, all'ordine professionale in comune.

Abbiamo ulteriormente ammodernato il nostro sito web, le modalità telematiche di iscrizione al Congresso e di sottomissione dei sunti delle comunicazioni, la visibilità *online* del programma del Congresso e dei sunti stessi. Lo scopo è sempre quello di rendere il tutto più gradevole e fruibile per i Soci.

I corsi 2009 della *International School of Physics "Enrico Fermi"* di Varenna hanno centrato i seguenti accattivanti temi: "*Nano optics and atomics: transport of light and matter waves*" (23 giugno - 3 luglio, Direttori: R. Kaiser, D. Wiersma); "*Physics with many positrons*" (7-17 luglio, Direttori: A. Dupasquier, A. Mills); "*Radiation and particle detectors*" (20-25 luglio, Direttori: S. Bertolucci, U. Bottigli). Anche quest'anno i corsi si sono svolti brillantemente in virtù dell'accurato e intelligente lavoro dei direttori e dei docenti tutti.

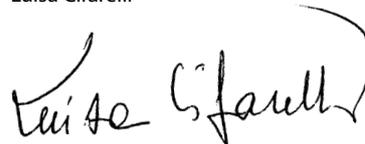
Il 27 giugno, durante lo svolgimento del primo corso, ha avuto luogo a Varenna una bella e commovente cerimonia in onore di Franco Bassani: L.C. Andreani, A. Aspect, M. Inguscio ed E. Tosatti ne hanno illustrato l'alta figura scientifica alla presenza dei suoi familiari e di

alcuni tra i suoi amici e colleghi più cari. Ho avuto il piacere in quell'occasione di ricordarne l'importante opera come XV Presidente della SIF.

Passando alle questioni editoriali, mi preme segnalare ai Soci che la SIF ha aderito con convinzione all'iniziativa lanciata dall'EPS di creare un "pool europeo" di riviste e giornali di fisica basati sul partenariato delle maggiori società scientifiche europee. In tale ottica, sia pure con un ruolo diverso (anche dal punto di vista economico) e con un diverso tipo di collaborazione (con DPG, EPS, IOP e SFP, tutte insieme o separatamente) a seconda dei casi, ma sempre con analogo peso scientifico, la SIF intende sostenere in una prima fase: EPL (EURO PHYSICS LETTERS, cosiddetto "*letters journal*") che copre tutte le aree della fisica), EPJ (EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL, rivista a molte sezioni diversificate per le varie aree) e NJP (NEW JOURNAL OF PHYSICS, giornale solo elettronico e in *open access*, anche questo ad ampio spettro come EPL). Così facendo la SIF non ha certo intenzione di trascurare i suoi "storici" giornali, IL NUOVO CIMENTO B e C e LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO, recentemente rilanciati con grande impegno, come i Soci avranno avuto modo di notare leggendo i molti avvisi (e inviti) di pubblicazione che ormai ricevono regolarmente.

Chiudo con un grazie ai tanti lettori de IL NUOVO SAGGIATORE che non solo lo apprezzano ma non mancano mai di farcelo sapere.

Luisa Cifarelli



With this short editorial note in IL NUOVO SAGGIATORE, I would first like to thank all those who with their untiring engagement are tangibly contributing to the growth of SIF. The number of Members is increasing and for the first time in years we received a "flood" of more than 200 applications to our numerous prize competitions; they come mostly from junior Members thus witnessing the new blood and vitality of our Society.

In 2009 we have carried out many initiatives that you partly already know:

- to promote and support the teaching of physics in school, in the framework of the ongoing reform;
- to diffuse a correct scientific information on "hot" topics, such as energy;
- to achieve the acknowledgement of physicist's professions;
- to foster an enlarged forum of discussion on the present university- and research-related matters and problems;
- to better integrate SIF in the European

and international context of other learned societies, also keeping in mind interdisciplinarity;

- to boost and renew our scientific editorial products.

We have opened a bank account to collect donations in favour of the revival of physics in L'Aquila, after the disastrous earthquake that struck the town and its university.

We have introduced the role of a "local SIF referent" in various seats (universities, laboratories, centres) with the aim to establish better relationships of SIF with the territory. We have strengthened the collaboration with AIF (*Associazione per l'Insegnamento della Fisica* - Association for Physics Teaching) and with analogous associations and societies related to physics. We have established several contacts and interactions with our representatives at CUN (*Consiglio Universitario Nazionale* - National University Council), with the chairs of physics graduate student councils, with the directors of physics

departments, with the representatives of research institutions. Cooperation with chemists is going on well on different fronts: from energy to teaching, to a joint professional roll.

Our web site is undergoing continuous improvement, and so are the online registration to the Congress, the online submission of the presentation abstracts, the online visibility of the Congress program as well as of the abstracts themselves. The aim is to render everything more user-friendly and accessible to Members.

The 2009 courses of the Varenna *International School of Physics "Enrico Fermi"* dealt with the following appealing topics: "*Nano optics and atomics: transport of light and matter waves*" (23 June - 3 July, Directors: R. Kaiser, D. Wiersma); "*Physics with many positrons*" (7-17 July, Directors: A. Dupasquier, A. Mills); "*Radiation and particle detectors*" (20-25 July, Directors: S. Bertolucci, U. Bottigli). Again this year the three courses took place brilliantly

thanks to the careful and clever work of the directors and all the lecturers. On June 27, during the first course, a very nice and touching ceremony was held in honour of Franco Bassani: L.C. Andreani, A. Aspect, M. Inguscio and E. Tosatti reported on Bassani's high-standing scientific figure at the presence of his family and of his closest friends and colleagues. On that occasion I had the pleasure to recall his important work as XV President of the Italian Physical Society. Switching to editorial matters, I would like to point out to our Members that SIF has given firm support to the initiative promoted by EPS

to create a "European pool" of physical journals based on the partnership of the main European learned societies. In this perspective, albeit with a different role (in particular as far as the economic involvement is concerned) and with a different collaboration scheme (with DPG, EPS, IOP and SFP, all together or singularly) depending on the cases, but always with the same scientific weight, SIF intends to support in a first stage: EPL (EURO PHYSICS LETTERS, a so called "letters journal" covering all fields of physics), EPJ (EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL, a journal with many different sections devoted to specific fields) and NJP (NEW JOURNAL OF PHYSICS, an electronic

only and open access journal covering a wide spectrum of fields as EPL). This does not mean at all that SIF is going to disregard its "historical" journals, IL NUOVO CIMENTO B and C and LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO, recently relaunched with much care, as all Members must have certainly noticed by reading the several publication alerts (and calls for papers) that are now sent out on a regular basis. Finally let me end with a thank to all readers of IL NUOVO SAGGIATORE who not only do appreciate it but do not ever fail to let us know.

Luisa Cifarelli



DONAZIONI PER LA RINASCITA DELLA FISICA ALL'UNIVERSITÀ DELL'AQUILA

DONATIONS FOR THE REVIVAL OF PHYSICS AT THE UNIVERSITY OF L'AQUILA

Il terremoto del 6 aprile 2009 ha messo in forse la possibilità di mantenere presso l'Università dell'Aquila quella funzione culturale che da oltre 40 anni ha permesso la valida formazione dei Fisici aquilani. La situazione è molto critica sia per il danno prodotto dal sisma alla sede universitaria e alle sue strutture sia per la difficoltà dei giovani che frequentano l'università a continuare gli studi in condizioni di notevole disagio (senza alloggi, aule, laboratori, trasporti).

Solo con un efficace e mirato intervento della nostra Comunità di Fisici sarà possibile una ricostruzione della vita del Dipartimento di Fisica e del Corso di Laurea in Fisica all'Aquila.

La Società Italiana di Fisica ha volentieri assunto il ruolo di "centro di riferimento" per convogliare gli aiuti al Dipartimento di Fisica e al Corso di Laurea in Fisica dell'Università dell'Aquila.

Le donazioni - DA PARTE DI PERSONE, UNIVERSITÀ, ENTI E ISTITUTI DI RICERCA, NAZIONALI E INTERNAZIONALI - possono essere effettuate sul seguente conto corrente della Banca Nazionale del Lavoro, intestato a:
SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA - "PER LA FISICA ALL'AQUILA"
Codice IBAN IT06 1010 0502 4000 0000 0002 755
Codice SWIFT/BIC: BNLIITRR

I fondi raccolti avranno come immediato obiettivo l'attivazione di una serie di PREMI O BORSE DI STUDIO DESTINATI AGLI STUDENTI DI FISICA DEI CORSI DI LAUREA TRIENNALE E MAGISTRALE E DEL CORSO DI DOTTORATO DELL'UNIVERSITÀ DELL'AQUILA.

The earthquake of April 6th 2009 has endangered the possibility to maintain at the University of L'Aquila the cultural function that in over 40 years has allowed the valid education of local Physicists. The situation is very critical not only for the damage produced by the seism to the seat itself of the university and its facilities but also for the difficulties of young people coming to the university to continue their studies in severe uneasiness conditions (without hostels, lecture halls, laboratories, transport).

Only thanks to an effective and focused intervention of our Physicists' Community the redevelopment in L'Aquila of the life of the Physics Department and of the Physics Graduation Course will be possible. The Italian Physical Society has willingly assumed a role of "centre of reference" to convey aid to the Physics Department and Physics Graduation Course of the University.

Donations - FROM INDIVIDUALS, UNIVERSITIES, RESEARCH CENTRES AND INSTITUTIONS, NATIONAL AND INTERNATIONAL - can be made via bank transfer to the following account of the Italian Banca Nazionale del Lavoro:
SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA - "PER LA FISICA ALL'AQUILA"
Code IBAN IT06 1010 0502 4000 0000 0002 755
Code SWIFT/BIC: BNLIITRR

The funds collected will have as immediate target the issue of AWARDS OR SCHOLARSHIPS FOR BACHELOR AND MASTER DEGREE STUDENTS AND FOR PHD STUDENTS AT THE UNIVERSITY OF L'AQUILA.

NEUTRINI DALLO SPAZIO

DISCUTENDO GLI OBIETTIVI DI UNA NUOVA ASTRONOMIA

GIULIA PAGLIAROLI^{1,2}, FRANCESCO LORENZO VILLANTE^{1,2},
FRANCESCO VISSANI¹

¹ INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Assergi (AQ), Italia

² Università dell'Aquila, Coppito (AQ), Italia

Cosa si intende per astronomia neutrinica? Quali nuove informazioni ha portato e quali sono le sue potenzialità? Per rispondere a queste domande, discutiamo alcune tra le più importanti sorgenti astronomiche di neutrini: il Sole; le supernove a collasso gravitazionale; i resti di supernova. Per ognuno di questi tre oggetti astronomici, presentiamo lo stato dell'arte, descriviamo le aspettative, e delineiamo i problemi più attuali dal punto di vista dell'astronomia neutrinica.

L'astronomia ordinaria è nata ben prima che conoscessimo a fondo la natura della luce. Le astronomie particellari (raggi cosmici, onde gravitazionali, neutrini) hanno seguito un diverso cammino: alla scoperta di nuove particelle sono seguiti i tentativi di dar vita a nuove branche dell'astronomia.

Nel campo dell'astronomia neutrinica (premiata nel 2002 dai Nobel a R. Davis Jr. e M. Koshiba) il progresso è risultato inestricabilmente legato alla necessità di capire le proprietà delle particelle considerate. Detto in termini più evocativi, prima di interpretare correttamente le osservazioni è stato necessario capire la natura della "luce neutrinica".

Nei dieci anni scorsi si è imparato che i neutrini oscillano, come suggerito da Bruno Pontecorvo [1] e più precisamente descritto da Wolfenstein, Mikheyev e Smirnov [2, 3]. Le varie evidenze sperimentali trovano posto in un quadro coerente, in cui i tre neutrini noti hanno differenze di massa conosciute e grandi angoli di mescolamento; si accumulano indizi che l'ultimo angolo di mescolamento valga 5° – 10° . Avendo appreso molto sulle proprietà dei neutrini, possiamo ora utilizzarli per sondare i sistemi astrofisici dai quali vengono prodotti.

Queste particelle leggere e debolmente interagenti permettono di guardare più a fondo della radiazione elettromagnetica, sia nello spazio che nel tempo. Essi consentono di ottenere informazioni importanti sulle proprietà degli interni stellari (neutrini solari, stellari e da

supernove), sui processi di accelerazione dei raggi cosmici (neutrini da resti di supernova), sui processi di formazione stellare (neutrini da supernove passate), sulle proprietà dell'universo primordiale (neutrini cosmici) ecc. Riportiamo in **fig. 1** un esempio di oggetto di interesse per l'astronomia neutrinica: la Nebulosa del Granchio.

Nella presente rassegna, ci concentriamo su alcuni obiettivi concreti della neutrino-astrofisica, riassumendo i principali risultati nel campo dei neutrini solari, da supernove e da resti di supernove. I tre campi sono in un diverso stato di maturazione ed implicano diverse tecniche sperimentali. I telescopi neutrinici, proprio come succede per la radiazione elettromagnetica, adottano soluzioni tecnologiche differenti per osservare neutrini di energia diversa. Evidenzieremo i problemi aperti, discutendo gli aspetti astrofisici e fornendo, quando possibile, semplici stime quantitative delle aspettative teoriche. Senza nutrire pretese di assoluto rigore, precisione o completezza, vorremmo fornire lo spaccato di una discussione attuale per la comunità scientifica italiana.

È importante far chiarezza su cosa sappiamo sulla emissione di neutrini da sorgenti astrofisiche; poter contare su informazioni affidabili permette di progettare (oppure ottimizzare) i telescopi di neutrini e di interpretare meglio le eventuali osservazioni; enucleare i punti interessanti permette di focalizzare meglio gli sforzi successivi.

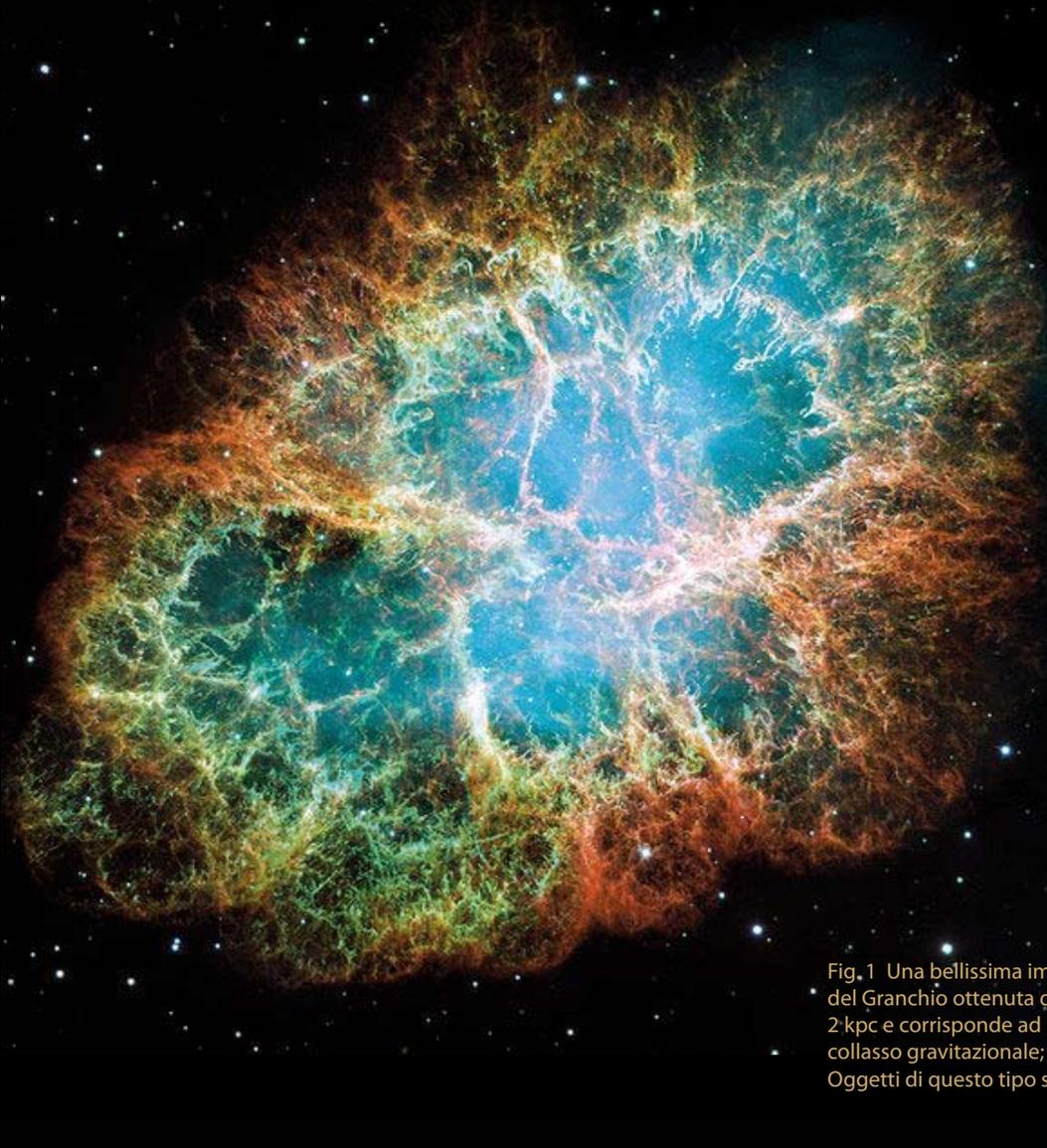


Fig. 1 Una bellissima immagine del resto di supernova detto nebulosa del Granchio ottenuta dall'Hubble Space Telescope [4]. Dista da noi 2 kpc e corrisponde ad una SN osservata nel 1054 che fu causata da un collasso gravitazionale; nell'interno della nebulosa c'è infatti una pulsar. Oggetti di questo tipo sono potenziali emettitori di neutrini ossevabili.

1 I neutrini del Sole

Il Sole rappresenta la più abbondante sorgente astronomica di neutrini. La produzione di neutrini solari testimonia nel modo più diretto l'esistenza delle reazioni nucleari di combustione dell'idrogeno all'interno del Sole. Queste, liberando energia, controbilanciano l'emissione dalla superficie e garantiscono la stabilità del Sole su tempi evolutivi dell'ordine di miliardi di anni. La celebre monografia e la pagina web di Bahcall [5] restano autorevoli fonti di informazioni.

Qualunque sia il meccanismo specifico attraverso cui avviene la conversione di 4 nuclei di idrogeno (cioè, protoni) in un nucleo di elio-4, debbono essere prodotti 2 neutrini elettronici, secondo lo schema: $2e^- + 4p \rightarrow {}^4\text{He} + 2\nu_e$. Per ogni nucleo di elio-4 viene liberata un'energia pari a $Q \sim 26,7$ MeV.

Se ipotizziamo che tutta l'energia emessa dal Sole sia dovuta a processi di fusione di idrogeno in elio, possiamo stimare il flusso di neutrini. Siccome il flusso di energia irradiato sulla Terra è $K = 8,53 \cdot 10^{11} \text{ MeV cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, otteniamo $\Phi_\nu = 2 K/Q \approx 6,4 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$: circa 60 miliardi di neutrini per secondo per centimetro quadro sulla superficie terrestre.

Per calcolare la loro distribuzione energetica è necessario specificare le catene di reazioni responsabili della fusione dell'idrogeno. I meccanismi principali sono la catena PP, così chiamata perché iniziata dalla reazione debole $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$, con le sue possibili terminazioni PPI, PPII e PPIII (si veda la fig. 2) ed il bi-ciclo CN-NO, che usa il carbonio (C), l'azoto (N) e l'ossigeno (O) presenti nel Sole come catalizzatori per la formazione dell'elio-4 (si veda la fig. 3). È inoltre necessario conoscere temperatura, densità e composizione chimica degli strati interni del Sole, che determinano

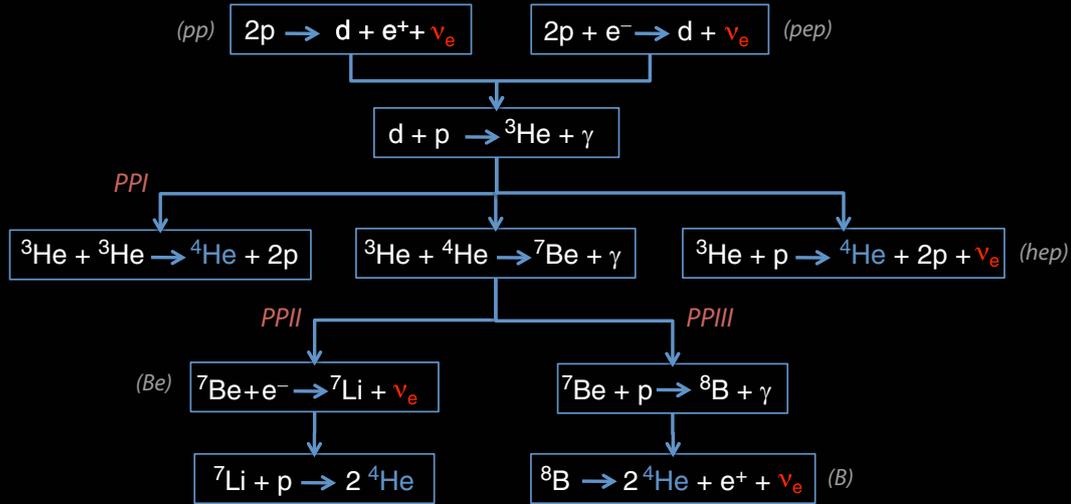


Fig. 2 La catena PP

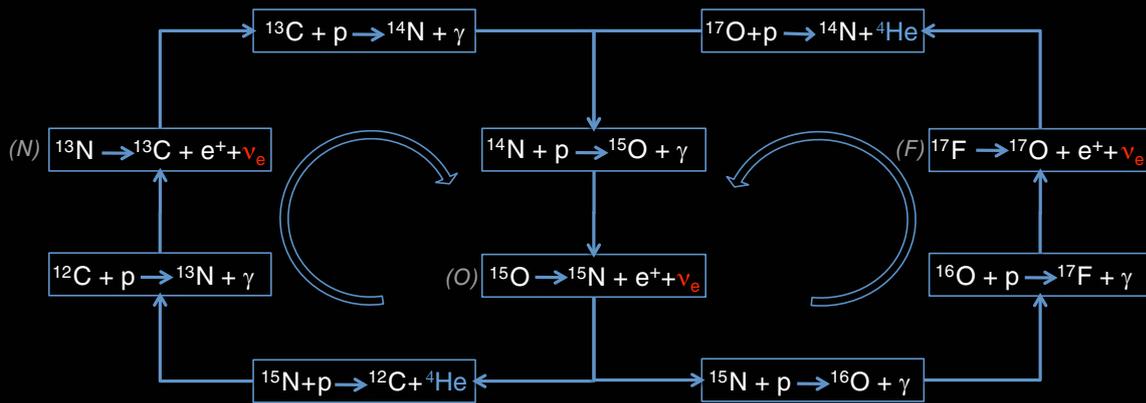


Fig. 3 Il bi-ciclo CN-NO

l'efficienza delle varie reazioni nucleari. Al fine di effettuare un tale calcolo si costruisce un Modello Solare Standard, cioè un modello teorico del Sole. I parametri fisici e chimici di ingresso sono scelti (entro i rispettivi intervalli di incertezza) per riprodurre le proprietà osservate, come il raggio del Sole, la sua luminosità, la sua composizione chimica superficiale. Il Modello Solare Standard è uno strumento di indagine fondamentale, in quanto consente di valutare la bontà delle teorie di evoluzione stellare con un alto livello di accuratezza. La modellistica evolutiva ha recentemente registrato significativi progressi. Lo sviluppo dell'eliosismologia, che studia le proprietà sismiche del Sole, ha consentito di determinare precisamente la profondità dell'involucro convettivo, l'abbondanza di elio superficiale ed il profilo di velocità del suono nel Sole. Anche nella determinazione di

certi parametri fisici fondamentali, come l'opacità del plasma stellare ed i fattori astrofisici delle reazioni termonucleari attive all'interno del Sole, si registrano grandi progressi; l'esperimento LUNA dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, ad esempio, ha determinato la velocità di reazione alle energie solari dei processi ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$ ed ${}^3\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^7\text{Be} + \gamma$, da cui dipende l'efficienza relativa della catena PPI e delle catene PPII e PPIII, e del processo ${}^{14}\text{N} + p \rightarrow {}^{15}\text{O} + \gamma$ da cui dipende l'efficienza del bi-ciclo CN-NO. Lo spettro di neutrini atteso è mostrato nella **fig. 4**. Circa il 90% dei neutrini solari sono i *neutrini pp*, prodotti dalla reazione $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$, con uno spettro di energia continuo ed un'energia massima pari a 0,42 MeV. Esiste inoltre una piccola componente di *neutrini pep* pari a circa 0,2% del totale, prodotti dalla reazione collegata $p + e^- + p \rightarrow d + \nu_e$, di energia 1,445 MeV. La seconda

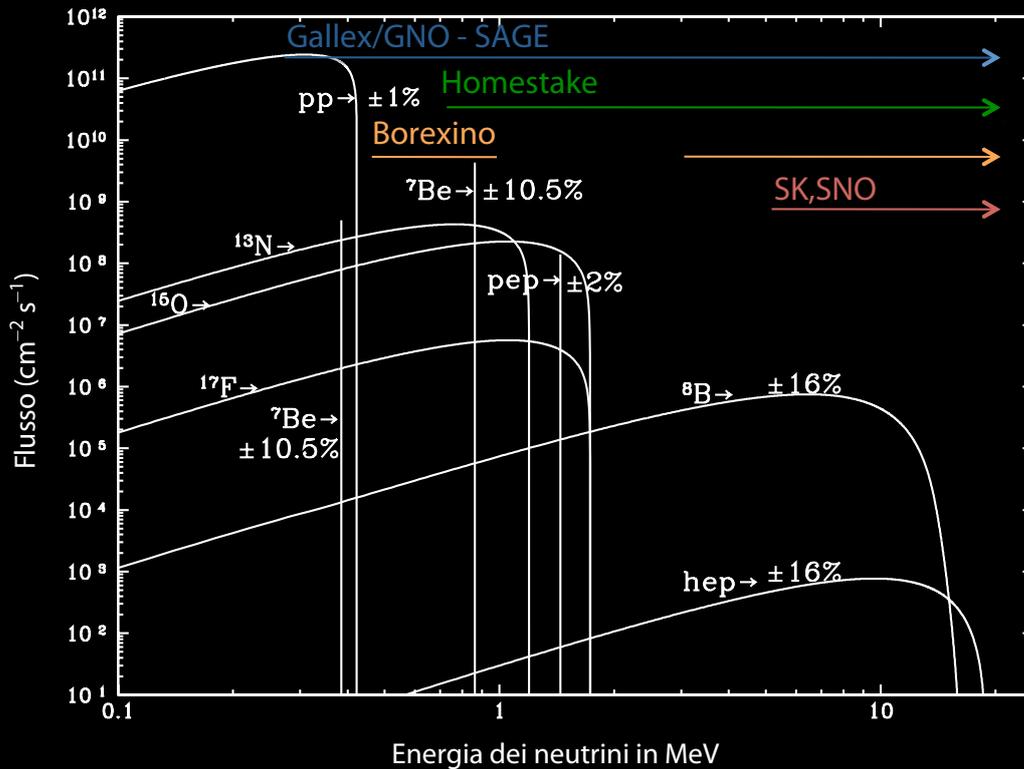


Fig. 4 Spettro delle varie componenti dei neutrini solari e regioni di sensibilità degli osservatori di neutrino.

componente del flusso dei neutrini solari, i *neutrini del berillio*, è pari a circa il 7% del totale ed è dovuta a processi di cattura elettronica su berillio $e^- + {}^7\text{Be} \rightarrow {}^7\text{Li} + \nu_e$ che producono una distribuzione spettrale quasi-monocromatica ad un'energia $\approx 0,863$ MeV. Nella terminazione PPIII, i processi di decadimento del boro ${}^8\text{B} \rightarrow {}^7\text{Be} + e^+ + \nu_e$ producono i *neutrini del boro*, pari a circa 0,008% del flusso totale ed aventi uno spettro continuo che si estende fino ad energie relativamente alte: l'energia massima è pari a 16,3 MeV. È bene tener presente che i fondi strumentali per la rivelazione dei neutrini crescono al decrescere dell'energia, col che risulta più facile evidenziare una piccola componente di alta energia come i neutrini del Boro, che il più abbondante flusso a basse energie. Infine, il bi-ciclo CN-NO è responsabile dell'~ 1% del flusso totale di neutrini (e di energia) del Sole. I *neutrini CNO* sono principalmente dovuti ai decadimenti ${}^{13}\text{N} \rightarrow {}^{13}\text{C} + e^+ + \nu_e$ e ${}^{15}\text{O} \rightarrow {}^{15}\text{N} + e^+ + \nu_e$, con un trascurabile contributo del decadimento ${}^{17}\text{F} \rightarrow {}^{17}\text{O} + e^+ + \nu_e$. Hanno spettri continui con energie massime dell'ordine del MeV.

1.1 Gli osservatori di neutrini solari e le oscillazioni

La prima rivelazione dei neutrini solari (e, più in generale, di neutrini da sorgenti astrofisiche) è avvenuta circa 40 anni fa con l'esperimento Homestake, basato sul processo di assorbimento di neutrini elettronici su nuclei di cloro (${}^{37}\text{Cl}$). Il segnale osservato, dovuto principalmente ai neutrini del

boro, risultò pari a circa un terzo del segnale atteso.

Tale deficit di neutrini solari fu confermato da numerosi esperimenti successivi e costituì il problema dei neutrini solari. Kamiokande e successivamente Super-Kamiokande, rivelatori Cherenkov ad acqua basati sulla reazione

$$(1) \quad \nu + e \rightarrow \nu + e \quad [\text{ES, da elastic scattering}]$$

sensibili soprattutto ai neutrini elettronici, studiarono in dettaglio la regione spettrale ad alte energie. Gallex/GNO e SAGE, esperimenti radiochimici basati sull'assorbimento di neutrini elettronici su gallio (${}^{71}\text{Ga}$), consentirono di estendere l'analisi ad energie più basse.

La definitiva soluzione del problema dei neutrini solari si ottenne con l'esperimento SNO, rivelatore Cherenkov ad acqua pesante (D_2O) che, utilizzando nuclei di deuterio come bersaglio, consentì di monitorare tutti i tipi di neutrino. Tale analisi mostrò che il deficit di neutrini elettronici era compensato da un flusso di neutrini di tipo non-elettronico. Il deficit evidenziato negli esperimenti precedenti, sensibili solo o prevalentemente ai neutrini elettronici, non è dunque "reale" ma dovuto al fatto che parte dei neutrini elettronici cambia natura (o come si dice in gergo, oscilla) durante il tragitto dal Sole alla Terra.

Ulteriori evidenze del fenomeno di oscillazione dei neutrini sono state successivamente fornite dall'esperimento

KamLAND, che ha studiato la propagazione degli (anti)neutrini elettronici prodotti da reattori nucleari e dall'esperimento Borexino che ha recentemente misurato il flusso di neutrini solari prodotti da processi di cattura elettronica su berillio e dal decadimento del boro. Per approfondimenti, si vedano i contributi al Nuovo Saggiatore di Giacomelli *et al.*, vol. 17 no. 1-2, p. 37 (2001); Focardi, vol. 17, no. 3-4, p. 69 (2001); Bilenky, vol. 19, no. 3-4, p. 49 (2003); Terranova e Tabarelli de Fatis, vol. 20, no. 5-6, p. 54 (2004); Bellini, Miramonti, Ranucci, vol. 24, no. 3-4, p. 46 (2008).

1.2 Cosa abbiamo imparato dai neutrini sul Sole

Allo stato attuale, il fenomeno delle oscillazioni è ben compreso e permette di interpretare correttamente le osservazioni di neutrini solari. I dati di SNO e KamLAND consentono di estrarre accuratamente i parametri fisici rilevanti, cosicché la probabilità di oscillazione dei neutrini solari è ben determinata. Possiamo, allora, tornare a concentrarci sul progetto originale: utilizzare i dati degli esperimenti di neutrino solare per studiare le proprietà del Sole. La situazione attuale ed i principali risultati raggiunti possono essere riassunti come segue:

1. L'osservazione dei neutrini ha consentito di studiare la produzione di energia nel Sole e ha confermato l'ipotesi, alla base delle teorie di evoluzione stellare, che all'interno delle stelle avvengano processi di combustione nucleare. I neutrini portano informazioni dirette sulle proprietà della zona più interna del Sole: le reazioni termonucleari avvengono solo a distanze dal centro $r \leq 0,3 R_{\odot}$, dove R_{\odot} è il raggio solare, dove le temperature sono sufficientemente alte. Queste informazioni complementano quelle fornite da altri metodi di indagine, ad esempio l'eliosismologia, che invece sondano principalmente gli strati intermedi o esterni del Sole.
2. I risultati degli esperimenti di neutrino solare sono in sostanziale accordo con le predizioni dei Modelli Solari Standard; la modellistica evolutiva risulta validata. L'importanza di questo risultato non deve essere sottovalutata: il Sole è un riferimento chiave per valutare la bontà delle teorie di evoluzione stellare e, dunque, per l'interpretazione dei dati osservativi su stelle di altra massa o in differenti fasi evolutive.
3. La misura del flusso dei neutrini del boro, φ_B , ottenuta da SNO, insieme a Super-Kamiokande e Borexino merita un commento. Il dato osservativo coincide al livello del $\sim 10\%$ con le predizioni. I neutrini del boro sono estremamente sensibili alla modellistica evolutiva. In prima approssimazione, le variazioni percentuali del flusso, $\delta\varphi_B$, sono legate alle variazioni percentuali della temperatura centrale del Sole δT_c dalla relazione $\delta\varphi_B \sim 20 \delta T_c$. Capiamo, dunque, che la misura di φ_B può essere pensata come una taratura di precisione del "termometro" solare.

1.3 Cosa vorremmo ancora imparare

I punti precedenti riassumono alcuni dei successi dell'astronomia dei neutrini solari e consentono di apprezzare l'importanza dei neutrini come sonda per lo studio del Sole. Rimangono irrisolti vari quesiti che gli esperimenti moderni o del prossimo futuro contano di affrontare.

Pur coprendo gran parte dello spettro atteso, gli esperimenti non forniscono un'informazione diretta su tutti i canali di produzione dei neutrini. Al momento le uniche componenti del flusso estraibili in maniera diretta dalle osservazioni sono quelle dovute al decadimento del boro φ_B ed alla cattura elettronica sul berillio φ_{Be} . La seconda misura è dovuta a Borexino, discusso in questa rivista nella recente rassegna, già citata, di Bellini, Miramonti e Ranucci.

Il segnale negli esperimenti radiochimici (Homestake, Gallex/GNO e SAGE) che esplorano la regione di energie più basse risulta dalla sovrapposizione di diverse componenti, che non si sanno separare. In linea di principio, i flussi incogniti potrebbero essere ottenuti sottraendo il contributo delle componenti misurate, φ_B e φ_{Be} . A tal fine, possiamo raggruppare le varie componenti in base al processo di produzione, ponendo

$$(2) \quad \varphi_p = \varphi_{pp} + \varphi_{pep} \quad \text{e} \quad \varphi_{CNO} = \varphi_O + \varphi_N$$

ad indicare la somma dei flussi dovuti alle reazioni protone-protone (pp) e protone-elettrone-protone (pep), e la somma dei flussi prodotti all'interno del bi-ciclo CN-NO dal decadimento di azoto-13 (N) e dell'ossigeno-15 (O). Ma la determinazione di φ_p e φ_{CNO} così ottenuta non è sufficientemente accurata.

Determinare la componente φ_p , che corrisponde a circa il 90% del flusso totale ed è dovuta alle reazioni che controllano l'efficienza della catena PP, consentirebbe di verificare in maniera diretta l'effettiva corrispondenza tra l'energia prodotta da processi nucleari all'interno del Sole e l'energia irradiata dalla superficie, dimostrando che il Sole è in una condizione di equilibrio stazionario e consentendo di escludere l'esistenza di altri canali di produzione e/o di perdita di energia.

Ancor più interessante sarebbe conoscere φ_{CNO} . In primo luogo, l'efficienza del bi-ciclo CN-NO dipende dall'abbondanza di carbonio, azoto ed ossigeno. La metallicità solare (abbondanza degli elementi più pesanti dell'elio-4) è stata recentemente rivista sulla base di una più accurata determinazione delle abbondanze fotosferiche. Il nuovo dato osservativo, necessario per la costruzione di Modelli Solari Standard, conduce a predizioni in netto disaccordo con i dati della eliosismologia. Il problema della metallicità solare è tutt'ora aperto e potrebbe indicare che qualcosa nella modellizzazione del Sole e/o nella determinazione dei suoi parametri di ingresso, in particolare nel calcolo dell'opacità

radiativa, deve essere rivisto.

Inoltre, pur essendo sub-dominante nel Sole, il bi-ciclo CN-NO riveste un ruolo fondamentale nelle fasi evolutive avanzate. È quindi importante verificare che i modelli evolutivi stellari lo predicano correttamente. L'efficienza del bi-ciclo CN-NO, ad esempio, è connessa con la valutazione dell'età degli ammassi globulari, che sono i sistemi stellari più antichi della nostra galassia, da cui estraiamo un limite inferiore per l'età dell'Universo.

I moderni esperimenti di neutrino solare e quelli del prossimo futuro promettono di esplorare la regione di bassa energia e potrebbero consentire un sostanziale progresso. L'esperimento Borexino, dopo aver misurato le componenti φ_B e φ_{Be} , sta studiando come estrarre dal fondo strumentale anche le componenti φ_{CNO} e φ_{pep} . Contemporaneamente, l'esperimento KamLAND, basato su una tecnologia analoga, sta iniziando un programma scientifico dedicato ai neutrini solari di energia bassa ed intermedia. Nel prossimo futuro, entrerà in funzione l'esperimento SNO+, che, grazie ad un ridotto fondo cosmogenico (dovuto ai raggi cosmici), dovrebbe riuscire ad isolare le componenti φ_{CNO} e φ_{pep} . Tutto ciò illustra la vitalità, l'interesse e le ampie possibilità di progresso nel campo dell'astronomia dei neutrini solari.

2 Neutrini da collassi gravitazionali

Le esplosioni di supernove sono fenomeni astrofisici estremamente interessanti. Le ragioni che conducono al collasso gravitazionale di una stella di grande massa ($M > 8M_\odot$), alla esplosione ed alla formazione di una stella di neutroni (o di un buco nero) sono state già discusse in questa rivista – si veda in particolare Galeotti, vol. 11, no. 5, p. 42 (1985). Il meccanismo specifico non è però ancora stato chiarito. Esso costituisce un problema complesso che coinvolge aspetti di fisica nucleare, fisica delle particelle ed astrofisica, su cui l'astronomia neutrinica potrebbe gettar luce. L'esplosione di supernove dovute a collassi gravitazionali è accompagnata dall'emissione di intensi flussi di neutrini. Per avere una stima della entità di tale emissione basta ricordare che l'energia totale emessa nella esplosione è approssimativamente uguale all'energia di legame della stella di neutroni residua,

$$(3) \quad \mathcal{E} \sim G_N \frac{M_{NS}^2}{R_{NS}} = 3,6 \times 10^{53} \left(\frac{M_{NS}}{1,8 M_\odot} \right)^2 \left(\frac{10 \text{ km}}{R_{NS}} \right) \text{ erg},^1$$

dove vengono indicati valori tipici per la massa (M_{NS}) e il raggio (R_{NS}) della stella di neutroni. Il 99% di tale energia

¹ L'energia dell'esplosione si misura comunemente in foe = 10^{51} erg, nome che deriva dall'acronimo inglese ten to Fifty-One-Erg; ricordiamo che $1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$.

viene rilasciata attraverso un flusso di $N_\nu \sim 10^{58}$ neutrini di tutti i tipi; l'1% circa va in energia cinetica del gas e minime frazioni in emissione di onde elettromagnetiche ($\sim 0,01\%$) e gravitazionali ($\leq 0,0001\%$).

Ognuna di queste emissioni porta informazioni sulla fisica della stella durante il collasso e l'esplosione, che integrate tra di loro potrebbero dare un quadro dettagliato del fenomeno. La radiazione elettromagnetica viene emessa dalla stella insieme all'onda d'urto, qualche ora dopo il collasso. Un'immagine ottica della SN1987A è mostrata in fig. 5. I neutrini e le onde gravitazionali, invece, interagiscono poco con il mezzo. Per questo portano informazioni sulla dinamica delle zone più interne del nucleo stellare, che raggiungono densità e temperature enormi. Lo studio di questi segnali permetterà di comprovare (o confutare) i modelli dell'esplosione, che sono ancora lontani dal costituire una teoria solida e completa di un fenomeno così complesso. Oltre alle motivazioni di carattere astrofisico, vanno notate la possibilità di studiare le proprietà della materia in condizioni estreme e molti aspetti di fisica particellare.

Lo studio delle supernove a collasso gravitazionale deve fare i conti con la rarità di questi eventi. Assumendo che tutte le popolazioni stellari siano in equilibrio, il numero di stelle supermassicce presenti nella nostra galassia resta legato al numero di esplosioni di supernove dovute a collasso gravitazionale, ed al numero di pulsars e di resti di supernove con una prefissata età, attraverso una relazione del tipo

$$(4) \quad \frac{4 \times 10^5 \text{ stelle}}{2 \times 10^7 \text{ anni}} \sim \frac{1 \text{ SN}}{50 \text{ anni}} \sim \frac{4 \times 10^4 \text{ pulsars}}{2 \times 10^6 \text{ anni}} \sim \frac{20 \text{ SNR}}{10^3 \text{ anni}} .$$

Nella Via Lattea, l'aspettativa è di 1-3 supernove a collasso gravitazionale ogni 100 anni. L'ultima supernova galattica visibile ad occhio nudo è stata quella testimoniata da Giovanni Keplero nel 1604; perciò si ritiene che la maggior parte delle supernove non siano state viste.

2.1 Aspettative per l'emissione dei neutrini

Lo scenario standard per l'esplosione delle supernove a collasso gravitazionale attribuito a Bethe e Wilson [7] prevede varie fasi d'emissione di neutrini. Il collasso comincia quando il nucleo di ferro con un raggio di circa $R_{Fe} \sim 3000 \text{ km}$, raggiunge la massa di Chandrasekhar $M_{Ch} \sim 1,4 M_\odot$ e la pressione dovuta agli elettroni non riesce a controbilanciare la gravità. In questa fase, i processi di fotodisintegrazione del ferro e di cattura elettronica riducono la pressione, accelerando il collasso che avviene su tempi scala dell'ordine di $\tau_{coll} \sim 0,1$ secondi.

Inizialmente, tutto il nucleo della struttura collassa in modo omologo e la densità centrale aumenta fino a raggiungere valori pari a $\rho_c \sim 10^{12} \text{ g cm}^{-3}$. A queste densità i neutrini prodotti dai processi di cattura elettronica vengono



Fig. 5 Porzione di cielo in cui è stata osservata la famosa SN1987A, prima e durante l'osservazione. Immagine tratta da [6].

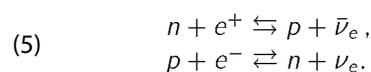
intrappolati da processi di urto elastico sui nuclei. Il nucleo della stella si separa in una zona interna con masse tipiche di $M_i \sim 0,5-0,8 M_\odot$ che continua a collassare in modo omologo subsonicamente, ed una parte esterna che collassa supersonicamente.

Il collasso continua fin quando la densità centrale raggiunge i valori di densità nucleare $\rho_c \sim 10^{14} \text{ g cm}^{-3}$. A questo punto, l'equazione di stato cambia: la materia diventa pressoché incompressibile ed il collasso si arresta. La parte esterna del nucleo, che non si è accorta di questo cambiamento, continua a precipitare e "rimbalza" sulla parte interna del nucleo originando un'onda d'urto con un'energia cinetica $E \sim 10^{52} \text{ erg}$.

Se l'onda d'urto avesse un'energia sufficiente, potrebbe attraversare il nucleo esterno, producendo l'esplosione degli strati esterni della stella. Le analisi mostrano che questo non avviene. Infatti, ogni 0,1 masse solari attraversate l'onda perde circa $1,7 \times 10^{51} \text{ erg}$ dissociando i nuclei. Inoltre, dopo pochi millisecondi dal rimbalzo, l'onda d'urto raggiunge zone a densità sufficientemente bassa da permettere ai neutrini intrappolati di fuggire dalla struttura, perdendo

ulteriore energia. Questo può essere considerato l'istante iniziale della emissione, caratterizzato da un intenso picco di ν_e prodotti dai processi di cattura elettronica, detto **flash di neutronizzazione**.

Le perdite di energia portano l'onda d'urto a stallare a $R_s \sim 200 \text{ km}$. In questa fase, la materia continua a cadere nel nucleo accrescendolo. Diversi fattori concorrono alla riaccensione dell'onda d'urto su tempi scala di $\gtrsim 0,5$ secondi. Non esiste ancora un quadro chiaro del meccanismo predominante, ma certamente i neutrini svolgono un ruolo chiave. Infatti all'interno del materiale attraversato dall'onda d'urto i nucleoni liberi interagiscono con e^\pm secondo le reazioni:



Il bilancio tra i processi di produzione ed assorbimento dei neutrini dipende della densità e della temperatura del mezzo stellare. Nella zona subito sotto l'onda d'urto prevale l'assorbimento di neutrini e antineutrini, che *riscalda*

Fig. 6 Energia e tempo degli eventi rivelati in occasione della SN1987A da Kamiokande-II (rosso) IMB (blu) e Baksan (fucsia). Allo scopo di evidenziare l'addensamento di eventi nel primo secondo di osservazione, riportiamo il tempo in scala logaritmica per tutti gli eventi successivi al primo.

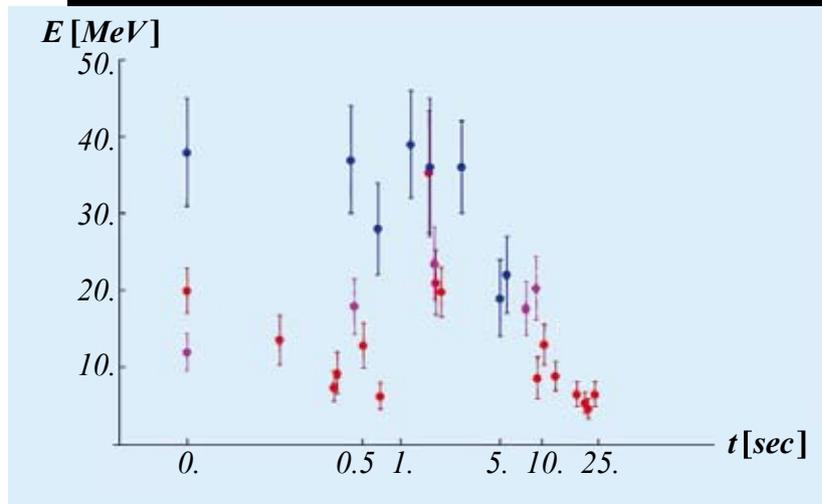
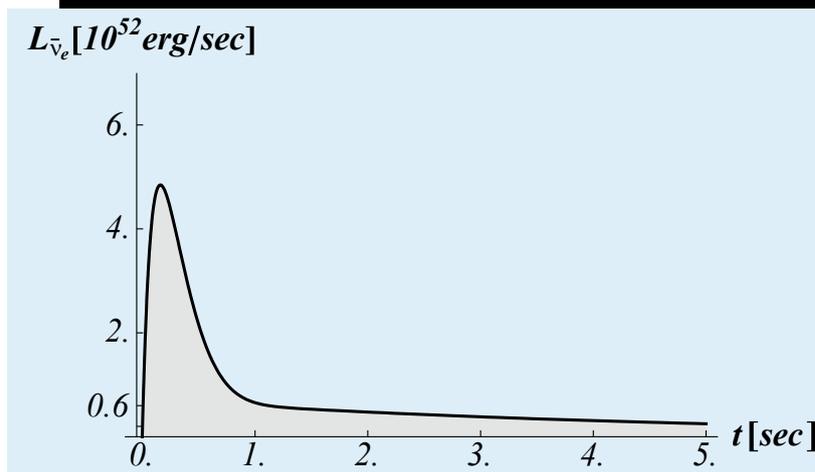


Fig. 7 Luminosità totale in $\bar{\nu}_e$ dedotta dall'analisi dei dati della SN1987A [8].



la struttura cedendole energia. Questa energia è, in alcuni casi, sufficiente a produrre l'esplosione della stella secondo lo scenario di *esplosione ritardata*, anche detto scenario di esplosione coadiuvata dai neutrini. Nella zona più interna, vicina alla superficie della protostella di neutroni, prevalgono le reazioni di produzione che *raffreddano* la struttura e danno luogo ad un intenso flusso di neutrini e antineutrini elettronici. Questa fase dell'emissione, chiamata fase di **accrescimento**, è responsabile del 10–20% dell'energia totale emessa in neutrini ed è di grande interesse in quanto rappresenta la prima emissione di antineutrini elettronici. Possiamo parametrizzare il flusso di accrescimento in modo semplice usando le proprietà del processo stesso di produzione. La luminosità attesa in antineutrini elettronici è

$$(6) \quad L_{accr} \sim N_n \sigma_{e+n} T_a^4 \sim 5 \times 10^{52} \frac{\text{erg}}{\text{s}} \left(\frac{M_a}{0.1 M_\odot} \right) \left(\frac{Y_n}{0.6} \right) \left(\frac{T_a}{2 \text{ MeV}} \right)^6,$$

dove Y_n è la frazione in numero di neutroni liberi presenti nel mezzo (0,6 è un valore tipico) e i parametri astrofisici T_a e M_a descrivono la temperatura nella zona di emissione dei neutrini e la

massa di nucleoni esposta al flusso di positroni. Questa emissione raggiunge il massimo e poi declina durante la frazione di secondo che precede la riaccensione dello *shock* e l'esplosione finale.

La restante energia viene emessa su tempi scala dell'ordine di $\Delta t \sim 10$ s dal raffreddamento termico della protostella che emette neutrini ed antineutrini di tutti i tipi. La luminosità di questa fase di **raffreddamento** può essere parametrizzata attraverso

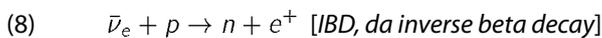
$$(7) \quad L_{\text{raffr}} \sim R_c^2 T_c^4 \sim 5 \times 10^{51} \frac{\text{erg}}{\text{s}} \left(\frac{R_c}{10 \text{ km}} \right)^2 \left(\frac{T_c}{5 \text{ MeV}} \right)^4,$$

dove T_c è la temperatura iniziale dei neutrini emessi, mentre R_c , il raggio che caratterizza l'emissione, è simile al raggio della nascente stella di neutroni.

2.2 La supernova 1987A

Il 23 Febbraio del 1987 venne rivelato un segnale dalla supernova a collasso gravitazionale nota come SN1987A. La stella progenitrice era la supergigante blu Sanduleak – 69° 202a, di massa $M_p \sim 15 M_\odot$, situata nella Grande Nube di Magellano ($D \sim 50$ kpc). La lontananza della SN1987A ed il fatto che fossero attivi soltanto rivelatori relativamente piccoli consentirono di acquisire solo pochi eventi, che però aprirono una discussione scientifica ancora oggi estremamente vivace. Riassumiamo, nel seguito, alcuni risultati.

Gli esperimenti Kamiokande-II (2,14 kton), IMB (6,8 kton) e Baksan (0,2 kton) osservarono un gruppo di eventi distribuiti in una finestra temporale di ~ 10 secondi mostrati in **fig. 6**. Questi furono preceduti di $\sim 4,7$ ore dai 5 eventi visti da LSD. Tra le varie reazioni di rivelazione, che includono l'urto elastico (ES) sopra menzionato, la più importante è il decadimento beta inverso



poiché ha di gran lunga la sezione d'urto maggiore, $\sigma \sim 9 \times 10^{-44} (E_\nu / \text{MeV})^2 \text{ cm}^2$. È quindi naturale assumere che gli eventi osservati dalla SN1987A siano principalmente dovuti ad IBD. Il numero di protoni bersaglio nei rivelatori è dell'ordine di $N_p = 2 \times (M_{\text{Det}} / m_{\text{H}_2\text{O}}) = 6,69 \times 10^{31}$ ($M_{\text{Det}} / 1$ kton), dove M_{Det} è la massa equivalente del rivelatore e $m_{\text{H}_2\text{O}}$ è il peso molecolare dell'acqua.

Il numero di interazioni attese è proporzionale al numero di protoni bersaglio, alla sezione d'urto d'interazione e al flusso di antineutrini elettronici, $\Phi_{\bar{\nu}_e}$

$$(9) \quad N_{\text{ev}} = N_p \times \sigma \times \int dt \Phi_{\bar{\nu}_e} \sim 188 \times \left(\frac{M_{\text{Det}}}{1 \text{ kton}} \right) \left(\frac{10 \text{ kpc}}{D} \right)^2,$$

dove M_{Det} è la massa del rivelatore, D è la distanza della supernova e $\Phi_{\bar{\nu}_e}$ il flusso di $\bar{\nu}_e$. L'energia media attesa è di $\langle E_{\bar{\nu}_e} \rangle = (12-18) \text{ MeV}$.

Una parametrizzazione del segnale atteso consente di tracciare una strada che, partendo dall'astrofisica, porta a calcolare il numero di eventi attesi in un rivelatore. Tale strada può essere percorsa in senso contrario: partendo dai dati osservativi possiamo dedurre i parametri astrofisici più appropriati a descrivere le osservazioni. Questo è il percorso che abbiamo seguito in una recente dettagliata rianalisi dei dati della SN1987A [8]. I valori dei vari parametri astrofisici trovati sono in ottimo accordo con le aspettative, anche se, a causa della limitata statistica, gli errori sui parametri sono relativamente grandi. La curva di luminosità degli antineutrini elettronici che risulta dalla nostra analisi è riportata in **fig. 7**. Essa include una fase iniziale di alta luminosità e ben si accorda con le aspettative del collasso standard.

Discutiamo infine l'interpretazione delle osservazioni di LSD. Considerando i tempi scala dei processi di emissione appena descritti è facile comprendere la difficoltà ad includerle

nello scenario standard, che non prevede diverse emissioni a distanza di ore l'una dall'altra. Sono stati però proposti scenari alternativi. In particolare, lo scenario di Imshennik e Ryazhskaya [9] prevede un primo segnale di soli neutrini elettronici, a cui solo un certo tipo di rivelatori (come LSD) risulterebbero sensibili. Non esiste ancora però un modello che spieghi contemporaneamente e ugualmente bene entrambe le osservazioni.

2.3 Gli obiettivi futuri

Una supernova galattica è attesa dalla comunità scientifica da più di 20 anni; richiamiamo i motivi di tanto interesse. Evidentemente, la principale ragione ha natura astrofisica. Avere per la prima volta a disposizione dati dettagliati avrà un impatto enorme sulla comprensione dell'esplosione. Considerando i progressi di sensibilità dovuti alla costruzione di rivelatori sempre più grandi come Super-Kamiokande, LVD, IceCUBE, ecc. e con maggiore capacità di identificazione degli eventi osservati, ci aspettiamo migliaia di eventi da IBD. Con una tale statistica, i processi di interesse con tempi scala sopra ai ~ 100 ms potranno essere ben studiati.

Un rivelatore come Super-Kamiokande può identificare certe reazioni con sezione d'urto minore, come l'urto elastico. Questo potrebbe permettere di studiare fasi di emissione caratterizzate solo da neutrini elettronici, come il *flash* di neutronizzazione, ma anche di desumere la posizione della supernova nel cielo. Infatti l'ES, a differenza dell'IBD, è un'interazione fortemente direzionale e può essere usata per puntare alla sorgente anche in assenza di un'osservazione della controparte ottica. La [fig. 8](#) illustra questa possibilità.

Come ricordato, una supernova emette diversi segnali. Le onde gravitazionali sono quelle che presentano le maggiori difficoltà osservative. L'aspettativa è un impulso di durata complessiva di ~ 30 ms nel momento in cui la parte esterna del nucleo di ferro collassa e rimbalza sulla parte interna. È possibile utilizzare il segnale neutrino per coadiuvare la ricerca di questi impulsi, grazie al fatto che l'istante iniziale della emissione di $\bar{\nu}_e$ precede di pochi millisecondi l'istante del rimbalzo. Ricostruendo la fase iniziale del segnale neutrino possiamo identificare l'istante del rimbalzo con una precisione di ~ 10 ms. La ricerca di un segnale gravitazionale impulsivo così precisamente delimitato è molto più agevole; i rivelatori attuali – come LIGO e VIRGO – ne guadagnano in sensibilità.

Vari quesiti di fisica fondamentale ancora irrisolti, come ad esempio il valore della massa dei neutrini, possono avvantaggiarsi di tali eventi. Infatti la massa dei neutrini modifica lo spettro che arriva nel rivelatore, causando un ritardo del segnale che dipende dall'energia dei neutrini stessi.

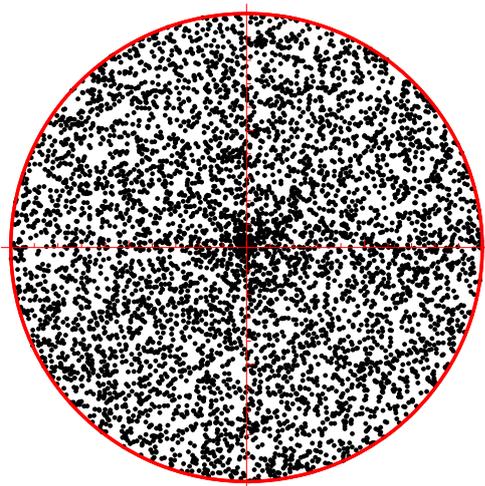


Fig. 8 I puntini rappresentano eventi simulati per una SN situata nel centro galattico, in un rivelatore Cherenkov di 32 kton di massa. Le possibili direzioni, pensate come punti sulla superficie della sfera di raggio 1, sono rappresentate sul cerchio di raggio 2 grazie alla proiezione di Lambert, che conserva le aree; gli eventi provengono dalla direzione corrispondente al centro. Un eccesso di eventi presso il centro, dovuto a circa 300 eventi ES, è visibile sullo sfondo di circa 5000 eventi IBD.

3 I Neutrini da resti di supernova

3.1 L'origine dei raggi cosmici galattici

L'interesse per i resti di supernova come sorgenti di neutrini è legato strettamente al problema dell'origine dei raggi cosmici galattici. Richiamiamo gli argomenti che suggeriscono la connessione tra resti di supernove e raggi cosmici.

Il primo suggerimento che in qualche modo i raggi cosmici fossero prodotti nelle supernove [10], prende formulazione compiuta grazie all'osservazione quantitativa di Ginzburg e Syrovatskii [11] che la perdita di energia dovuta alla fuoriuscita di raggi cosmici dalla Via Lattea è un ordine di grandezza più piccolo dell'energia cinetica del gas espulso dalle supernove galattiche. In formule,

$$(10) \quad \frac{\rho_{CR} V_{CR}}{\tau_{CR}} \sim 0.1 \times \frac{\mathcal{L}_{SN}}{\tau_{SN}},$$

dove $\rho_{CR} \sim 1 \text{ eV/cm}^3$ è la densità media di raggi cosmici galattici, $V_{CR} \sim 4000 \text{ kpc}^3$ è il volume che occupano (diciamo, un cilindro di 20 kpc di raggio e di 1.5 kpc di semi-altezza) e $\tau_{CR} \sim 50$ milioni di anni il loro tempo medio di permanenza nella Galassia; inoltre $\mathcal{L}_{SN} \sim 10^{51} \text{ erg}$ è la tipica energia cinetica del gas di una supernova e $\tau_{SN} \sim 30$ anni è il tempo medio tra una supernova galattica e l'altra.

Basta che un $\sim 10\%$ dell'energia del gas sia trasferito ad una ristretta popolazione di particelle sopra termiche (cioè, raggi cosmici) perché i processi di produzione e di perdite di raggi cosmici, veloci su tempi scala galattici, risultino in equilibrio tra loro. Il meccanismo potenzialmente in grado di accelerare dei raggi cosmici con la necessaria efficienza, noto con il nome di *diffusive shock acceleration*, fu descritto da Fermi nel 1949 [12].

È opportuno sottolineare che il quadro teorico-interpretativo sulle sorgenti e sui processi di accelerazione dei raggi cosmici è molto complesso. Allo stesso tempo, molti dei numeri riportati sopra sono affetti da importanti incertezze. Questo non compromette però la validità e l'interesse degli argomenti esposti.

3.2 Neutrini e gamma da resti di supernove

Alla luce delle precedenti considerazioni, si ritiene che i resti di supernova ospitino una alta densità di raggi cosmici, principalmente protoni, le cui interazioni danno luogo ad intense cascate adroniche. Questo avviene specialmente in presenza di materia che possa fungere da bersaglio, in analogia con quanto succede in un esperimento a "bersaglio fisso". I pioni neutri prodotti in queste cascate danno origine a raggi gamma; i pioni carichi, invece, creano leptoni carichi e neutrini. Questo scenario è noto come "ipotesi adronica" per l'emissione gamma.

Le energie di questi gamma (neutrini) secondari sono in media 10 (20) volte minori di quelle dei protoni primari. Siccome la componente galattica dei raggi cosmici si estende almeno fino al "ginocchio" osservato nello spettro dei raggi cosmici, con un'energia di circa $3 \times 10^{15} \text{ eV}$ ($= 3 \text{ PeV}$), crediamo che i resti di supernove emettano gamma e neutrini fino a qualche centinaia di TeV ($1 \text{ TeV} = 10^{12} \text{ eV}$). Particelle con questa energia vengono indicate con l'acronimo VHE dall'inglese *very high energy*.

In tempi recenti, l'astronomia VHE gamma (spesso inclusa tra le astronomie particellari) ha rivelato l'esistenza di resti di supernova galattici caratterizzati da emissioni intense e ben osservabili. Alcuni di questi, come RX J1713.7-3946 e Vela Jr, sembrano essere dominati da un'emissione di tipo adronico. Non è facile, tuttavia, escludere in modo categorico che i gamma VHE osservati siano dovuti a processi riguardanti elettroni, scenario noto come "ipotesi leptonica", sebbene certi indizi a favore dell'esistenza di intensi campi magnetici in alcuni resti di supernova rendano tale ipotesi meno plausibile. L'osservazione di una emissione di neutrini da parte di questi oggetti discriminerebbe tra le due ipotesi, dacché i neutrini VHE sono attesi solo nell'ipotesi adronica; cosa che spiega l'interesse per le future osservazioni. Presumibilmente, le osservazioni su un ampio spettro di lunghezze d'onda di questi oggetti, congiuntamente agli sforzi teorici verso descrizioni sempre più complete e convincenti, porteranno ad abbandonare la presente diffidenza verso l'ipotesi adronica e consentiranno di quantificare l'importanza relativa delle due diverse ipotesi. Le osservazioni di Fermi/Glast potrebbero risultare determinanti e comprovare la correttezza dell'ipotesi adronica.

È ragionevole supporre che le sorgenti più intense che oggi conosciamo, che includono le due sorgenti sopra discusse, resteranno soggetti privilegiati di indagine. Per questo è utile fornire alcuni dati quantitativi sulla sorgente RX J1713.7-3946 che al momento è quella meglio conosciuta, che mostrano come si accordi con l'ipotesi di Ginzburg e Syrovatskii. La sua distanza dalla Terra è pari a $R = 1 \text{ kpc}$ e la sua dimensione lineare dell'ordine di $D = \theta R/2 \sim 9 \text{ pc}$, avendo un angolo di $\theta = 1^\circ$. Se lo spettro dei raggi cosmici viene descritto da una legge tipo $E^{-1.9} \exp(-E/150 \text{ TeV})$, si riproduce la *forma* dello spettro gamma osservato, mostrato in [fig. 9](#).

Si pensa che i raggi cosmici di energia molto maggiore di 150 TeV siano già sfuggiti a causa dei 1600 anni di età del resto di supernova, che sappiamo dagli annali degli astronomi cinesi. Invece, la *normalizzazione* dello spettro gamma fissa la quantità di energia immagazzinata in raggi cosmici. Siccome il resto di supernova ingloba una nube molecolare di circa $M \sim 300 M_\odot$ (e pertanto ha $N_H = M/m_H \sim 3 \times 10^{59}$ nuclei di idrogeno che possono fungere da bersaglio ai raggi cosmici) troviamo che tale l'energia vale $\sim 5 \times 10^{49} \text{ erg}$.

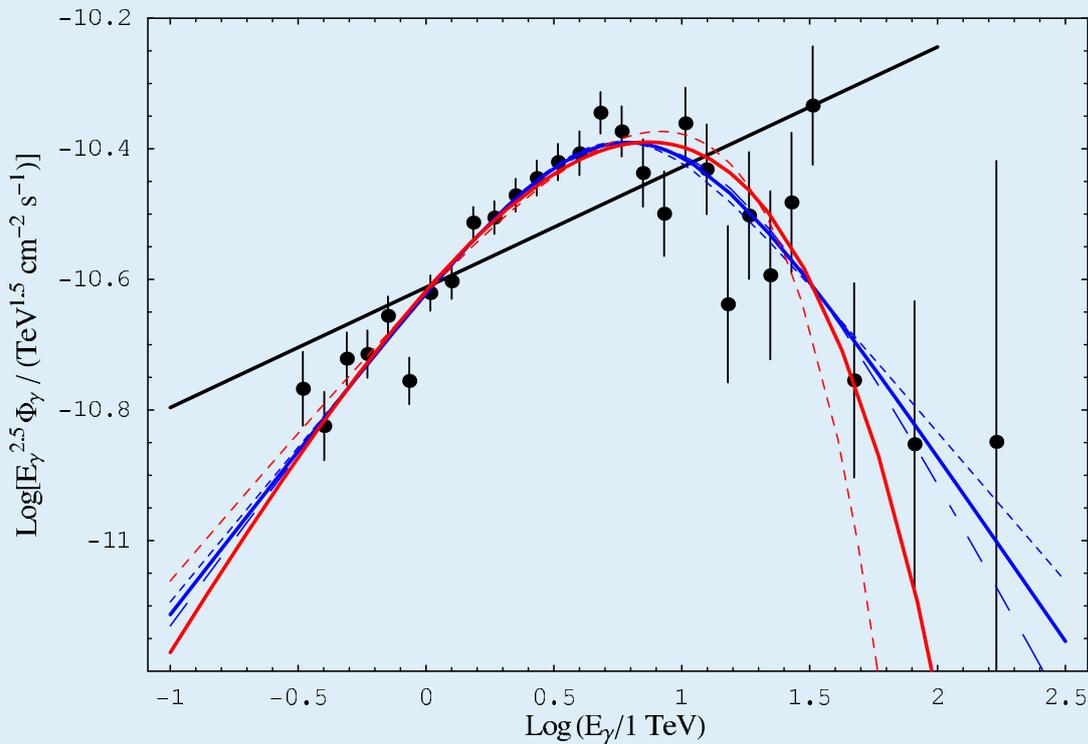


Fig. 9 Spettro dei gamma emessi da RX J1713.7-3946 come osservato da H.E.S.S. [13]. Varie parametrizzazioni ma non la legge di potenza (linea nera) descrivono i dati adeguatamente. Per ulteriori dettagli, si veda [14].

3.3 Le predizioni per i neutrini

Siamo pronti a discutere le predizioni. I gamma (e certo i neutrini) prodotti nei resti di supernova attraversano un mezzo molto tenue; per questa ragione si ritiene che non vengano significativamente assorbiti. Inoltre, l'intensità dei gamma e dei neutrini prodotti dipende linearmente dal flusso dei protoni primari; dunque sussiste una relazione lineare tra l'emissione di gamma e quella di neutrini. Questa relazione, se esplicitata, permette di predire in maniera semplice e diretta il flusso di neutrini.

È noto che, ad alte energie e nell'ipotesi che i raggi cosmici siano distribuiti secondo leggi di potenza $F_{CR} \propto E^{-\alpha}$, le interazioni adroniche sono tali da dare un flusso di gamma e di neutrini proporzionale a quello dei protoni primari. Sotto tale ipotesi, la relazione tra flussi di neutrini e di gamma è particolarmente semplice: sono connessi tra loro da una costante moltiplicativa. Questa ipotesi però non è sufficientemente accurata per predire i segnali nei futuri telescopi neutrinici, che risultano particolarmente sensibili alla parte ad alta energia dello spettro neutrino, dove ci aspettiamo deviazioni significative da leggi di potenza. Lo studio dettagliato del resto di supernova RX J1713.7-3946 ha, ad esempio, evidenziato la presenza di un taglio degli spettri gamma VHE ad energie dell'ordine di ~ 10 TeV. Tuttavia, rimane possibile predire in modo affidabile il flusso di neutrini. È stato, infatti, mostrato che i flussi di neutrino ed antineutrino muonico ($F_{\nu_{\mu}}(E_{\nu})$ ed $F_{\bar{\nu}_{\mu}}(E_{\nu})$) possono essere calcolati in ottima approssimazione partendo da un generico flusso gamma $F_{\gamma}(E_{\gamma})$ tramite la formula

$$(11) \quad F_{\nu_{\mu}}(E_{\nu}) + F_{\bar{\nu}_{\mu}}(E_{\nu}) = 0,66 F_{\gamma} \left(\frac{E_{\nu}}{1-r_{\pi}} \right) + 0,02 F_{\gamma} \left(\frac{E_{\nu}}{1-r_{K}} \right) + \int_0^1 \kappa(x) F_{\gamma} \left(\frac{E_{\nu}}{x} \right) dx,$$

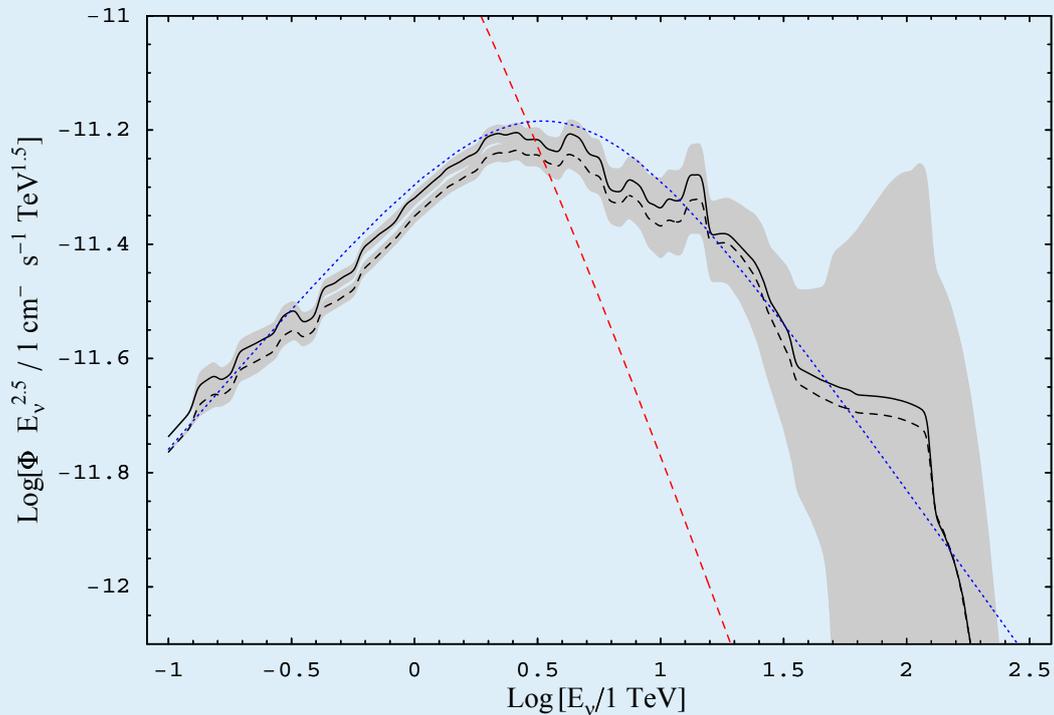


Fig. 10 Spettro di energia dei neutrini ed antineutrini muonici emessi da RX J1713.7-3946 come predetto usando i dati di H.E.S.S. In rosso, il fondo dovuto ai neutrini atmosferici. Per ulteriori dettagli, si veda [15].

dove $r_{\pi, K} = (m_{\mu}/m_{\pi, K})^2$ e dove il nucleo integrale è la seguente funzione:

$$(12) \quad \kappa(x) = \begin{cases} x^2(33,8 - 54,3x), & \text{se } x < r_K, \\ (1-x)^2(-0,63 + 12,45x), & \text{se } x > r_{\pi}, \\ 0,04 + 0,20x + 7,44x^2 - 7,53x^3, & \text{altrimenti.} \end{cases}$$

Il risultato di questi calcoli è mostrato in **fig. 10**.

La formula (12) tiene conto delle oscillazioni, descritte dalla teoria elementare di Pontecorvo che si applica quando le distanze tra la produzione e la rivelazione sono molto più grandi delle lunghezze di oscillazione λ ($\Delta m^2 = 2h E_{\nu}/(\Delta m^2 c^3)$). In queste condizioni, le oscillazioni dipendono solo dagli angoli di mescolamento, che sono noti in adeguata approssimazione. Per rivelare eventi di neutrini da SNR è necessario osservare non tanto il cielo quanto piuttosto i muoni che vengono da sottoterra così da sopprimere il fondo di eventi indotti da radiazione atmosferica; questo fu suggerito alla fine degli anni '50 nella tesi di laurea di Zheleznykh, come ricorda il suo relatore [16]. La Terra funge da convertitore di neutrini in radiazione osservabile e quello che conta non è tanto il volume del rivelatore ma la sua area efficace. Considerando le perdite di energia dei muoni nella materia è facile convincersi che la zona dove avviene la conversione ha dimensioni di qualche km di acqua, dimensioni necessarie per un telescopio di neutrini VHE.

Un telescopio di questo tipo, IceCUBE, sta operando proprio adesso al Polo Sud e avrà di certo un importante impatto nella discussione, sia che riveli *qualche* sorgente di neutrini, sia che non ne riveli nessuna. Inoltre, IceCUBE quantificherà in modo affidabile il fondo sperimentale per questo tipo di ricerca. Un telescopio simile ad IceCUBE, ma situato nell'emisfero Nord,

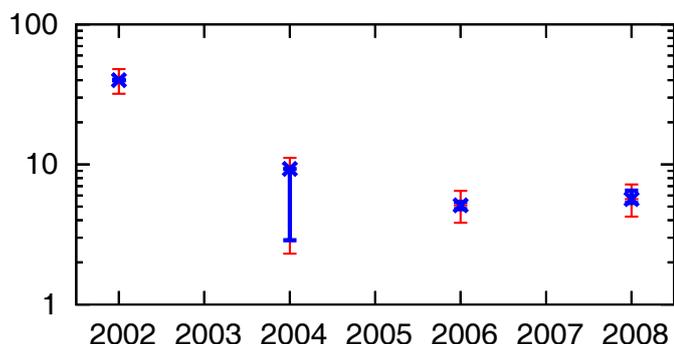


Fig. 11 Predizioni per il resto di supernova RX J1713.7-3946. Nella ascissa, anno della predizione; nell'ordinata, numero di eventi di muone per km² per anno sopra una soglia di 50 GeV. In blu, stima del numero di eventi e loro errore dovuto alle incertezze sullo spettro gamma VHE; in rosso, stima conservativa dell'errore teorico, posto al 20%.

permetterebbe di esplorare la maggior parte delle sorgenti galattiche ed in particolare i due oggetti sopra menzionati, RX J1713.7-3946 e Vela Jr. Ci concentriamo su questa possibilità nelle ultime righe, considerando il progetto di un futuro grande rivelatore nel Mediterraneo.

Con le considerazioni fisiche sopra esposte e grazie alle osservazioni gamma di H.E.S.S. situato in Namibia possiamo prevedere in modo attendibile il massimo flusso di neutrini attesi per un tale rivelatore. Come già ricordato, l'osservazione più dettagliata al momento disponibile riguarda il resto di supernova RX J1713.7-3946. Le analisi più recenti prevedono un segnale intorno a 2,5 eventi per km quadrato di rivelatore per anno di osservazione e sopra ad 1 TeV di energia, contro un fondo sperimentale di 1 evento circa. È evidente la difficoltà di osservare un segnale così debole. Purtroppo le prime predizioni teoriche si sono rivelate troppo ottimistiche, come si evince dalla fig. 11; per i

riferimenti, vedi [15].

Terminiamo descrivendo la situazione di Vela Jr. Ad energie intorno al TeV, tale resto di supernova ha un'intensità gamma ancora più alta di quella di RX J1713.7-3946. Inoltre, si ha motivo di credere che Vela Jr. sia più giovane di RX J1713.7-3946; dunque, i raggi cosmici più energetici non dovrebbero aver avuto il tempo di sfuggire. Assumendo che questo sia vero, ne deriva che: 1) lo spettro gamma deve seguire una legge di potenza $\sim E^{-2}$ fino alle energie più alte, cosa che potrà essere verificata da H.E.S.S.; 2) devono esistere neutrini di energia più alta. Pertanto, ci aspettiamo molti più eventi in un telescopio di neutrini.

In questo momento, purtroppo, manca la documentazione delle osservazioni gamma di H.E.S.S. proprio nella regione di energie più preziosa: quella sopra i 20 TeV. Ci piace concludere ammettendo di essere in speranzosa attesa di derivare le predizioni per i neutrini da Vela Jr.

Bibliografia

- [1] B. M. Pontecorvo, *Sov. Phys. Usp.*, 26 (1983) 1087.
- [2] L. Wolfenstein, *Phys. Rev. D*, 17 (1978) 2369.
- [3] S. P. Mikheev e A. Yu. Smirnov, *Il Nuovo Cimento C*, 9 (1986) 17.
- [4] http://www.nasa.gov/images/content/138785main_image_feature_460_ys_full.jpg
- [5] J. N. Bahcall, "Neutrino astrophysics" (Cambridge, 1989); <http://www.sns.ias.edu/~jnb>
- [6] <http://www.arcetri.astro.it/science/SNe/sn1987a.jpg>
- [7] H. A. Bethe e J. R. Wilson, *Astrophys. J.*, 295 (1985) 14.
- [8] G. Pagliaroli, F. Vissani, M. L. Costantini e A. Ianni, *Astropart. Phys.*, 31 (2009) 163.
- [9] V. S. Imshennik e O. G. Ryazhskaya, *Astron. Lett.*, 30 (2004) 14.
- [10] W. Baade e F. Zwicky, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 20 (1934) 259.
- [11] V. L. Ginzburg e S. I. Syrovatskii, "The origin of cosmic rays" (Oxford) 1964.
- [12] E. Fermi, *Phys. Rev.*, 75 (1949) 1169; *Astroph. J.*, 119 (1954) 1.
- [13] F. A. Aharonian et al. (Collaborazione H.E.S.S.), *Astrophys. J.*, 661 (2007) 236.
- [14] F. L. Villante e F. Vissani, *Phys. Rev. D*, 76 (2007) 125019.
- [15] F. L. Villante e F. Vissani, *Phys. Rev. D*, 78 (2008) 103007.
- [16] M. A. Markov, "The Neutrino" (Dubna) 1963.

Francesco Vissani

Primo Ricercatore INFN, i suoi interessi scientifici riguardano la fisica astroparticellare, i fenomeni legati alle masse dei neutrini e le estensioni del modello standard delle particelle elementari. Assieme a Giulia Pagliaroli, postdoc, e Francesco Lorenzo Villante, ricercatore universitario, è membro di un gruppo di lavoro sulla astronomia neutrinica. PhD in Fisica presso la SISSA nel 1994, postdoc all'ICTP e al DESY di Amburgo, dal 2006 coordina il gruppo teorico del Laboratorio del Gran Sasso (<http://theory.lngs.infn.it/index.html>). È stato il primo vincitore del Premio Occhialini istituito nel 2008 dalla SIF congiuntamente all'IOP (Institute of Physics).

UNIQUE AND EXCITING NANOSTRUCTURES

ELECTRONIC AND OPTOELECTRONIC NANODEVICES BASED ON CARBON NANOTUBES

MAURIZIO DE CRESCENZI, CLAUDIA SCILLETTA, FRANCESCA TOMBOLINI,
MANUELA SCARSELLI, PAOLA CASTRUCCI

Dipartimento di Fisica, Unità CNISM, Università di Roma Tor Vergata, Roma, Italy

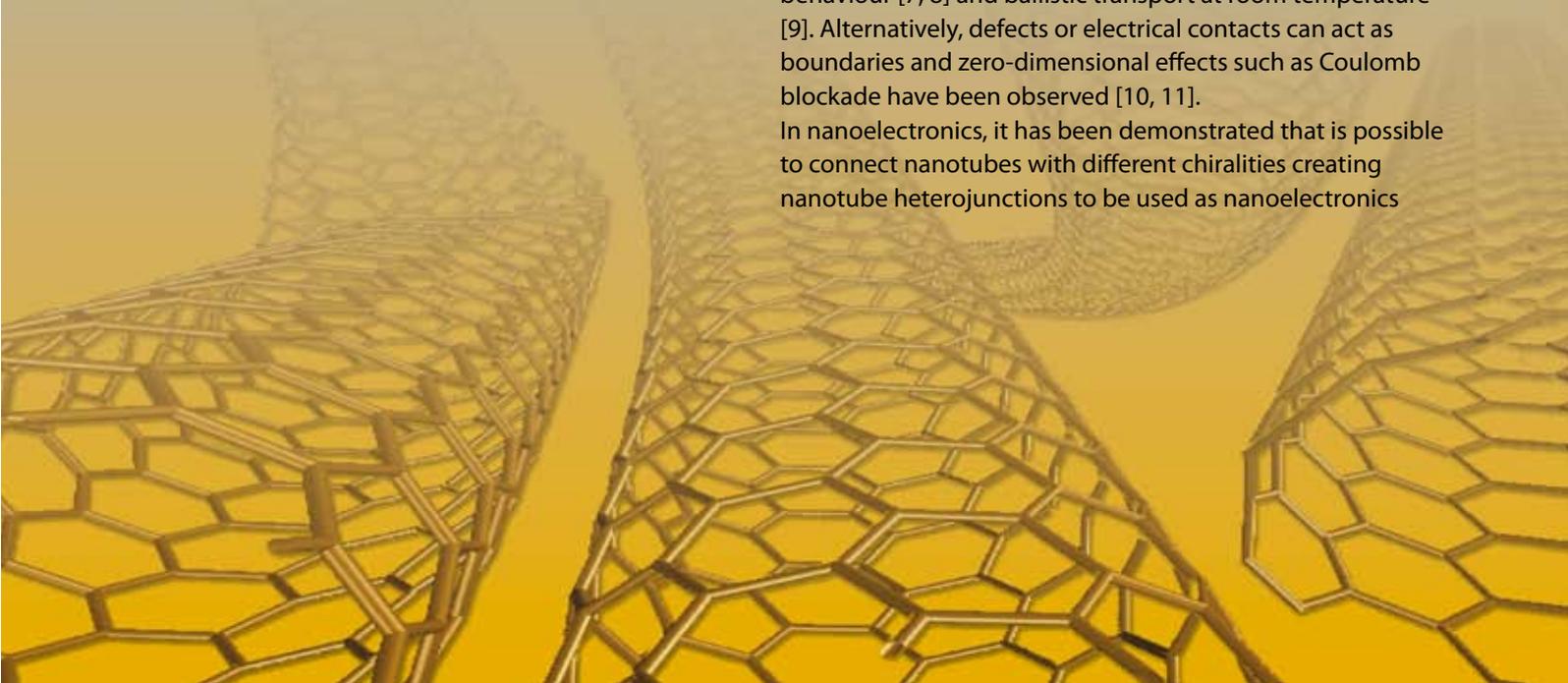
Because of their remarkable electronic and structural properties, carbon nanotubes are unique and exciting nanostructures. Extensive works carried out in recent years have revealed the intriguing electrical and mechanical properties of these novel molecular scale wires. It is now well established that carbon nanotubes are ideal model systems for studying the physics in one-dimensional solids and have significant potential as building blocks for various practical nanoscale devices. Progress in nanotube growth has facilitated greatly the fundamental study and applications of nanotubes. Various technological applications are likely to arise using nanotubes for fabrication of flat panel displays, gas storage devices, toxic gas sensors, Li⁺ batteries, robust and lightweight composites, electronic nanodevices, etc. We review here the latest research advances of carbon nanotubes as electronic and optoelectronic nanodevices. Further experimental and theoretical research is still necessary so that novel technologies will become a reality in the early twenty-first century.

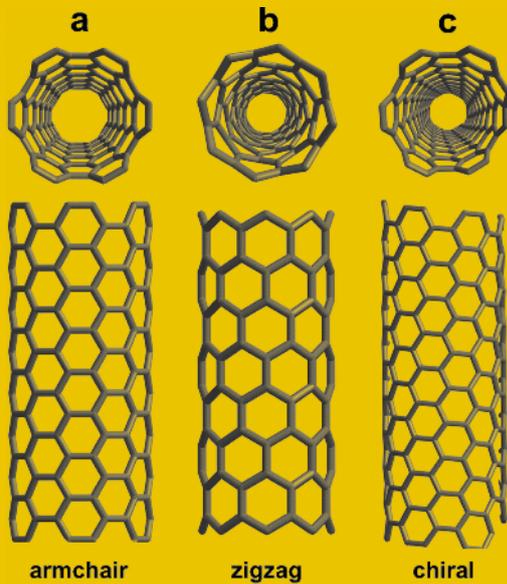
1 Introduction

Carbon nanotubes (CNTs) are quasi-one-dimensional crystals with the shape of hollow cylinders made of one or more graphite sheets; their size is typically μm in length and 1–20 nm in diameter. Because of many interesting properties that carbon nanotubes exhibit and their possible applications, CNTs have emerged to be one of the most intensively investigated nanostructure materials since their discovery ascribed to S. Iijima of the NEC Laboratory in Tsukuba (Japan) [1]. The most intriguing predicted property of carbon nanotubes was their semiconducting or metallic behaviour depending on their diameter and on the orientation of their hexagons with respect to the nanotube axis [2, 3]. This ability to display distinct electronic properties without changing the local bonding sets nanotubes apart from all other nanostructured materials.

Their one-dimensional character has been manifested in many experiments, where the singularities in the density of states typical for 1D-structure have been measured [4–6]. CNTs appear as an ideal system for the study of Luttinger-liquid behaviour [7, 8] and ballistic transport at room temperature [9]. Alternatively, defects or electrical contacts can act as boundaries and zero-dimensional effects such as Coulomb blockade have been observed [10, 11].

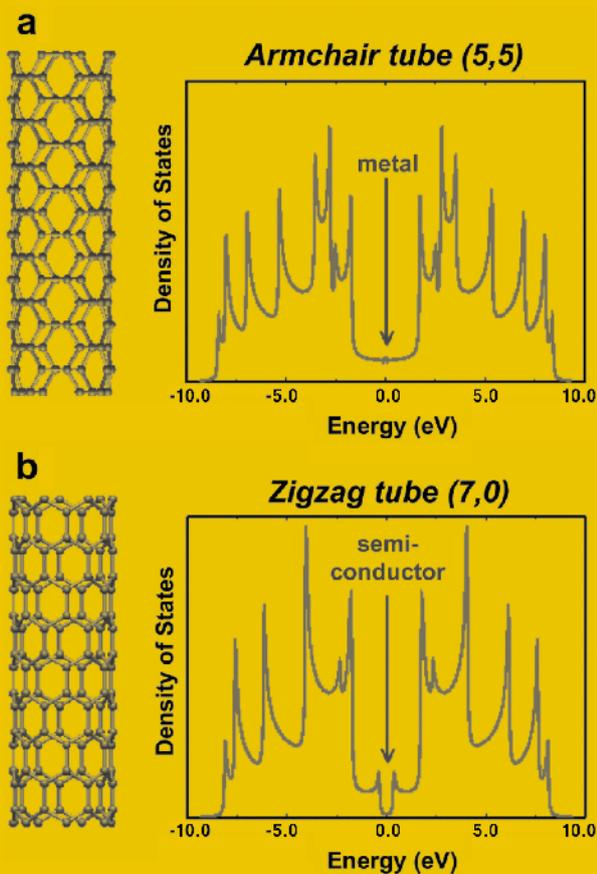
In nanoelectronics, it has been demonstrated that is possible to connect nanotubes with different chiralities creating nanotube heterojunctions to be used as nanoelectronics





1

devices [12, 13] such as nanoscale p - n junctions [14], field-effect transistors [15–17] and single-electron transistors [18, 19]. Recently CNTs have been used for many and different applications of great technological importance: conductive wires [20, 21], new optoelectronic devices [22, 23], photosensitive transistors [24], solar cells [25, 26] or chemical sensors [27, 28]. Prototype devices using the field emission properties of nanotubes [29] have been also realized. These devices include X-ray tubes [30], scanning X-ray sources [31], flat panel displays [32] and lamps [33]. A major difficulty for a wide future application in nanoelectronics is surely connected to the variety of nanotube structures that are produced simultaneously giving rise to a mixture of metallic and semiconducting CNTs. Other applications like nanotube field emitters or reinforcing materials by adding carbon nanotubes, do not require specific isolated tubes and are thus easier to realize.



2

2 Geometrical and electronic structure

A single graphite layer rolled up into a hollow cylinder is called a single-walled nanotube (SWNT); a tube comprising several, concentrically arranged cylinders is referred to as a multiwalled tube (MWNT). SWNTs have typical diameters of 1–2 nm, while MWNTs have a typical diameter of 10–30 nm with an interlayer spacing of 0.34 nm. The lengths of the two types of tubes can be up to hundreds of microns or even centimeters. There are many possible carbon nanotubes depending on how the graphite layer is rolled into a cylinder. The circumferential vector of the tube, which is usually denoted by a pair of integers (n, m) , is called the chiral vector (\mathbf{C}) and uniquely defines a particular tube [2, 3]. There are three distinct geometries of SWNTs: armchair, zig-zag and chiral (as shown in fig. 1).

1. The nanotubes of type (n, m) are commonly called armchair nanotubes. because of the \sphericalangle shape, perpendicular to the tube axis.
2. The nanotubes of type $(n, 0)$ are known as zigzag nanotubes because of the \sphericalangle shape perpendicular to the axis.
3. All the remaining nanotubes are known as chiral nanotubes.

As a general rule the nanotube will be metallic if $n - m = 3p$ and will be semiconductor if $n - m = 3p \pm 1$ (with $p = 0, 1, 2, 3$ etc.). This is shown in fig. 2 where the DOS (density of states) of metallic and semiconducting nanotubes is reported for (5,5) and (7,0) indexes, respectively.

In the carbon nanotube DOS several singularities appear, which are called van Hove singularities, due to the spatial confinement that induces a quantization of the electron wave vector parallel to the chiral vector [2]. Experimentally, the atomic structure of carbon nanotubes has been investigated with several electron techniques, such as transmission electron microscopy [34], scanning probe microscopy [4, 6] and electron diffraction [35, 36].

Scanning tunneling microscopy (STM) offered unique measurements with atomic resolution of the chiral angle, tube diameter and of the electronic properties through the direct measurement of the DOS close to the Fermi level (fig. 3).

3 Transport properties of nanotubes

In 1994, Langer *et al.* carried out the first transport measurements on bundles of MWNTs, using two gold contacts attached by lithographic techniques. These authors revealed a temperature-dependent resistance of the bundle material that fitted well (2–300 K) a simple two-band semimetal model [37]. Other electric conductivity measurements on aligned bundles of CNTs [38] showed that they behave as conducting materials and exhibited anisotropy with respect to transport properties for different nanotube alignment configurations [39, 40].

The best way to determine the conductivity mechanism of MWNTs and SWNTs is direct 4-probe (or 2-probe) measurements on crystalline individual tubes, thus avoiding some contact problems.

In this context, individual MWNT conductivity measurements (fig. 4) demonstrated that each MWNT exhibits unique conductivity properties [39, 40] that can lead to both metallic and semiconducting behavior (resistivities at 300 K of 1.2×10^{-4} – 5.1×10^{-6} ohm cm; activation energies < 300 meV for semiconducting

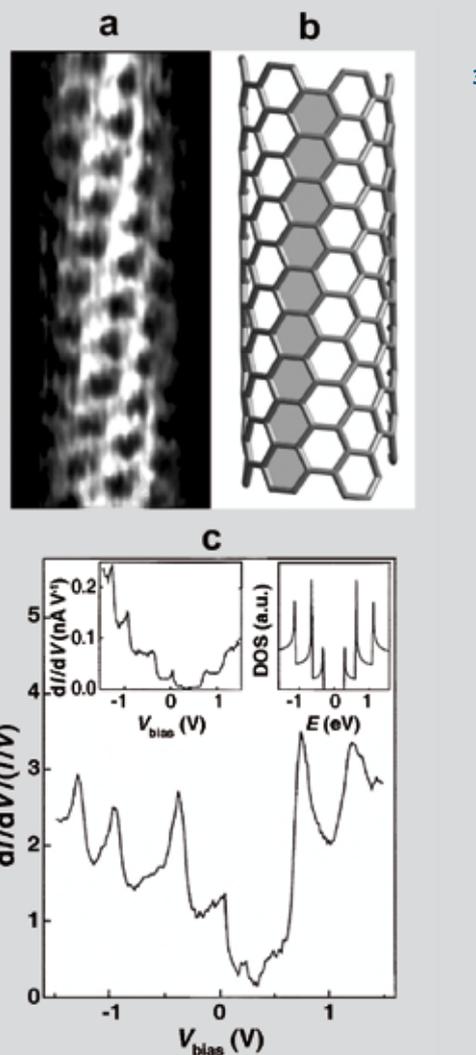


Fig. 1 Models of SWNTs exhibiting different chiralities: (a) armchair, (b) zig-zag, and (c) chiral arrangement.

Fig. 2 Density of states (DOS) exhibiting the valence and the conduction band for (a) a metallic armchair (5,5) tube, which shows electronic states at the E_F ; (b) a zig-zag tube revealing semiconducting behaviour due to the presence of an energy gap. The spikes shown in the DOS of the tubules are called van Hove singularities and are the result of the one-dimensional quantization, which is not present in a flat graphite single layer.

Fig. 3 (a) Atomically resolved STM image of an individual SWNT. The lattice on the cylinder surface allows identification of tube chirality by measuring the angle between the tube axis and the hexagon rows; (b) model of a chiral SWNT highlighting a hexagonal row; (c) $(dI/dV)/(I/V)$, the measure of the DOS versus V for a semiconducting nanotube. The left inset displays the raw dI/dV data; the right inset displays the calculated DOS for a (16,0) semiconducting tube. The overall shape of the experimental peaks (van Hove singularities) resembles that predicted by theory.

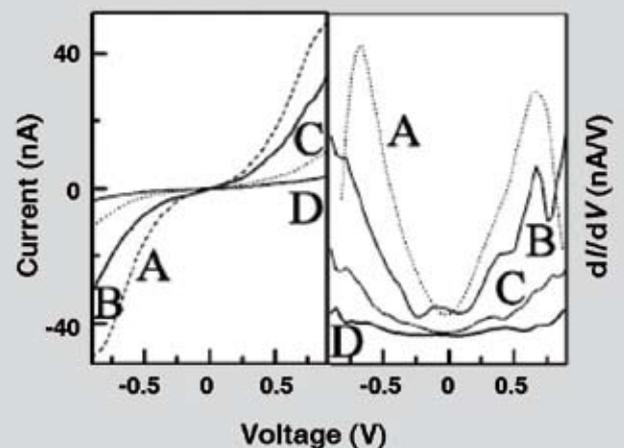
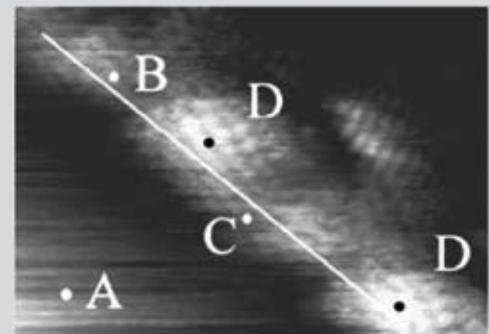
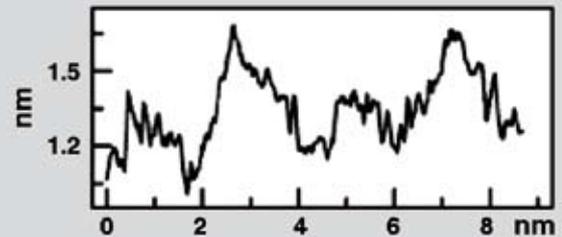
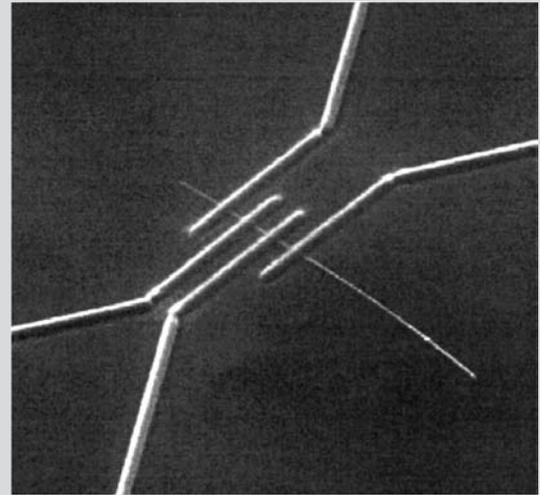
tubes). These results were the first to suggest that the geometry (*e.g.*, chirality, diameter, etc.) and degree of crystallinity (hexagonal lattice perfection, defects) of the tubular structures play a key role in the electronic response. Bundles of SWNTs have been shown to behave as metals with resistivities in the $0.34 \times 10^{-4} - 1.0 \times 10^{-4}$ ohm cm range [41].

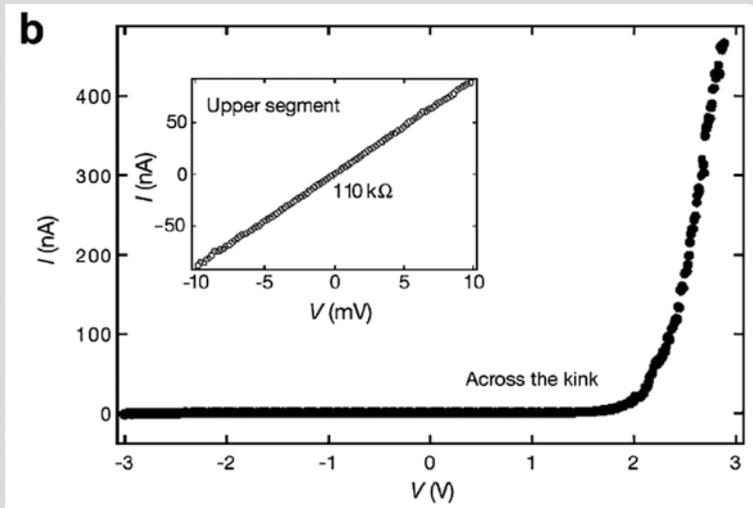
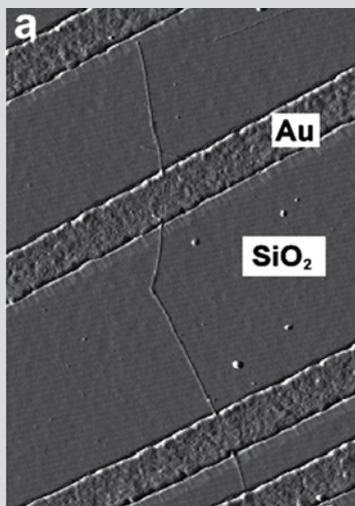
Collins *et al.* [42], using STM and STS, demonstrated that the transport on bundles of SWNTs is similar to that observed in graphite; in other words, SWNTs are semimetallic. The same authors also found that as the STM tip moves along the nanotube, abrupt changes can be observed in the I versus V curve, which suggests the presence of defects (*e.g.*, heptagon-pentagon pairs, kinks, etc.). Moreover Castrucci *et al.* [43] have observed a modulation in the conductance along the same twisted nanotube suggesting that a variation in the metallic character is possible along one-dimensional system on the nanometric scale. This result is interesting and allows one to consider this kind of nanotube as constituted by a sequence of nanojunctions.

Defects in nanotubes can be also induced by an AFM tip that produces local changes in the electronic properties as evidenced in [fig. 6](#) where the tube has been bent with a 36° kink. This kink can be associated with a nanotube structure containing a pentagon and a heptagon which results in a local variation of the tube chirality (passing from zig-zag to armchair geometry). This gives rise to a current-voltage rectifying behavior characteristic of a metal-semiconductor Schottky junction with nonlinear transport characteristics that are strongly asymmetric with respect to the bias polarity. Also this result demonstrated that extremely small electrical devices are obtainable on an individual molecular tube.

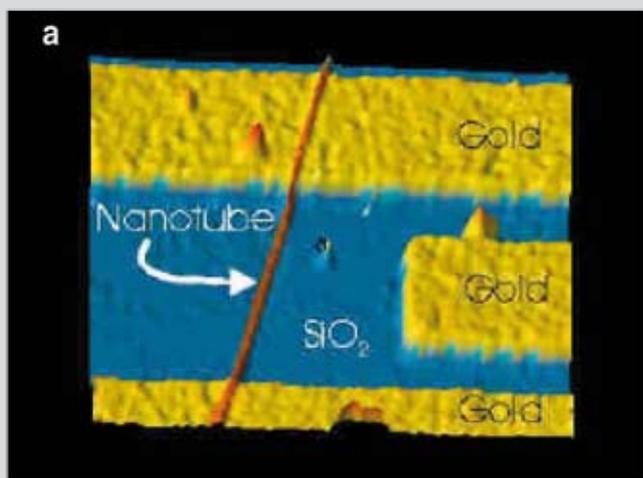
The first field-effect transistor (FET) device based on SWNT was fabricated in 1998 [16]. The SWCNT played the role of the “channel,” while the two metal electrodes functioned as the “source” and “drain” electrodes.

According to [fig. 7\(a\)](#) it consisted of a SWNT bridging two metallic electrodes deposited on a 140 nm thick gate oxide film on a doped Si wafer, which is used as a backgate. The source-drain current I through the NTs was measured at room temperature as a function of the bias voltage V_{SD} and the gate voltage V_G . [Figure 7 \(b\)](#), shows transfer characteristics $I-V_G$ of the NT device for different source-drain voltages. The behavior is similar to that of a *p*-channel metal-oxide-semiconductor FET. The source-drain current decreases strongly with increasing gate voltage, which not only demonstrates that the NT device operates as a *field-effect transistor* but also that





6



7

Fig. 4 MWNT connected to four tungsten wires (diameter of 80 nm) so that electronic transport of nanotubes can be determined.

Fig. 5 STM image ($5 \times 5 \text{ nm}^2$) showing two twisted nanotubes. The upper panel shows the line profile obtained along the white line drawn in the STM image. The lower panels show the I - V curves obtained on the points A, B, C, and D respectively and the correspondent differential curves. From Castrucci *et al.* [48].

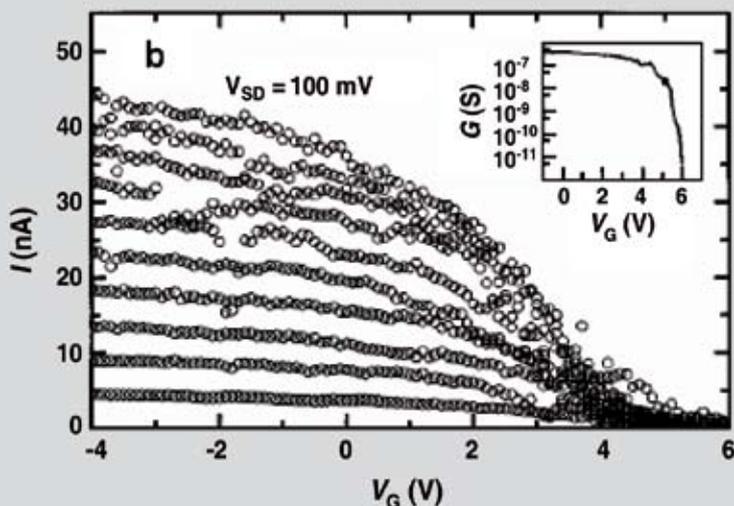
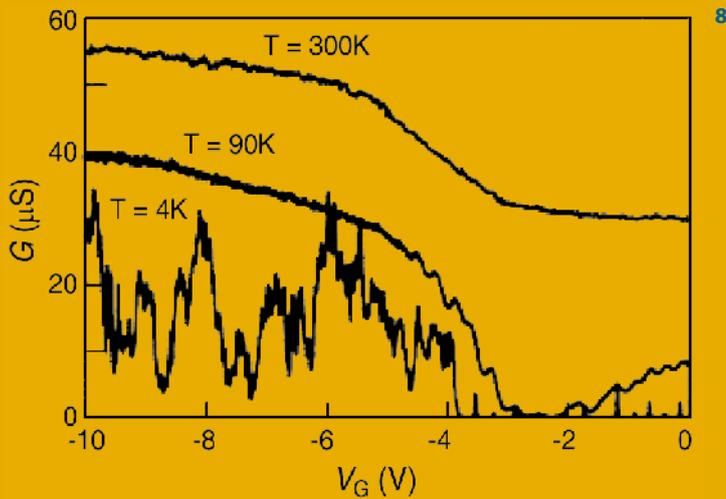
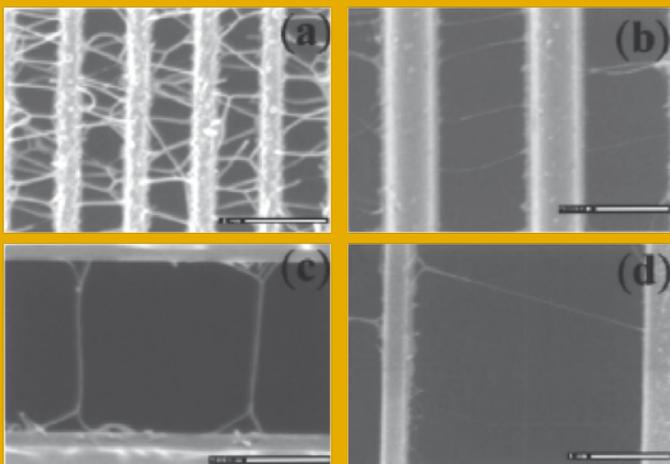


Fig. 6 (a) Atomic force microscope (AFM) image of a SWNT junction device. The tube exhibits a 36° kink. The kinks are associated with bent nanotube structures containing a pentagon and a heptagon which result in variations of the tube chirality. (b) Current-voltage characteristics across the metal-semiconductor SWNT junction of (a), showing rectifying behavior. The data were obtained at 100 K. Inset: The upper straight segment measured at room temperature reveals low resistance implying that this segment is metallic.

Fig. 7 (a) SEM image of a SWNT-based field-effect transistor bridged between two gold electrodes, (b) I - V_G characteristics of a carbon nanotube FET at room temperature. I - V_G curves for $V_{SD} = 10 - 100 \text{ mV}$ in steps of 10 mV. The inset shows that the gate modulates the conductance by 5 orders of magnitude ($V_{SD} = 10 \text{ mV}$).



8



9

Fig. 8 Temperature dependence of the conductance G of an MWCNT as a function of the gate voltage.

Fig. 9 SEM (a)–(d) images of SWNTs nanotubes across parallel gaps between stripe electrodes. (a) 500 nm wide gaps with remaining stripes 300 nm wide. Scale bar: 1 μm . (b) Gaps 700 nm wide. Scale bar: 500 nm. (c) Gaps 1.3 μm wide. Scale bar: 500 nm. (d) Gaps 3 μm wide. Scale bar: 1 μm . From ref. [44].

Fig. 10 a) SEM image of a pattern of perfectly aligned, perfectly linear SWNTs formed by CVD growth on a quartz substrate. b) Schematic illustration of the layout of a type of transistor that incorporates these aligned SWNTs. The device uses source (S), drain (D) and gate (G) electrodes and a dielectric layer formed sequentially on top of the SWNTs on quartz. c) SEM image of the channel region of such a device. The distance between the source and drain electrodes defines the channel length (L). d) Transfer curves I_D as a function of gate voltage, V_G measured from transistors with $L = 5, 10, 25$ and $50 \mu\text{m}$. From ref. [45].

transport through the semiconducting SWNT is dominated by positive carriers (holes). The conductance modulation of the SWNT-FET exceeds 5 orders of magnitude (see inset of fig. 7(b)).

This field effect transistor has been also reported for MWNTs as shown in fig. 8 where the conductance has been measured as a function of the temperature of the device. For very low temperature a sizeable modulation in the conductance is observed and this can be considered as a fingerprint that a single-electron transistor has been obtained. In fact at very low temperature the electronic states of the nanotube are quantized and a suitable gate voltage can allow the transit of a “single electron” between the Fermi levels of the source and drain electrodes.

Devices that use single SWNTs as functional elements might not, however, form a realistic basis for technology, due in part to their low current outputs and small active areas. Integration of single-tube devices into scalable integrated circuits requires a solution to the very difficult problem of synthesizing and accurately positioning large numbers of individual, electrically homogeneous tubes with linear geometries. For this reason a number of studies have been performed to increase the number of nanotubes between electrodes. An example of controlled growth of CNT has been shown in fig. 9, where straight CNTs bridge stripe electrodes with different micrometric distances [44].

Recently densely packed, perfectly aligned horizontal arrays of non-overlapping linear SWNTs have been fabricated (shown in fig. 10) showing that it is possible to provide parallel transport pathways giving rise to large current outputs together with statistical averaging effects that lead to small device-to-device variations in properties, even with tubes that individually have widely different transport characteristics [45].

This device shows a high current drain with respect to that of the SWNT (of about a factor 10^6) that depends on the density and the length of the nanotubes. Since the device has been obtained on a quartz substrate this opens the way to futuristic applications of very flexible nanotubes field-effect transistor (FET)-based devices (grown for example on

plastics sheets) instead of the actual more rigid silicon-based ones.

4 Carbon nanotubes for solar-energy conversion devices

10

The peculiar electrical and electronic properties, wide electrochemical stability, high surface area and cylindrical morphology (providing reactive edges to chemical functionalization) have prompted many researchers to employ carbon nanostructures assemblies for optoelectronic and energy conversion devices.

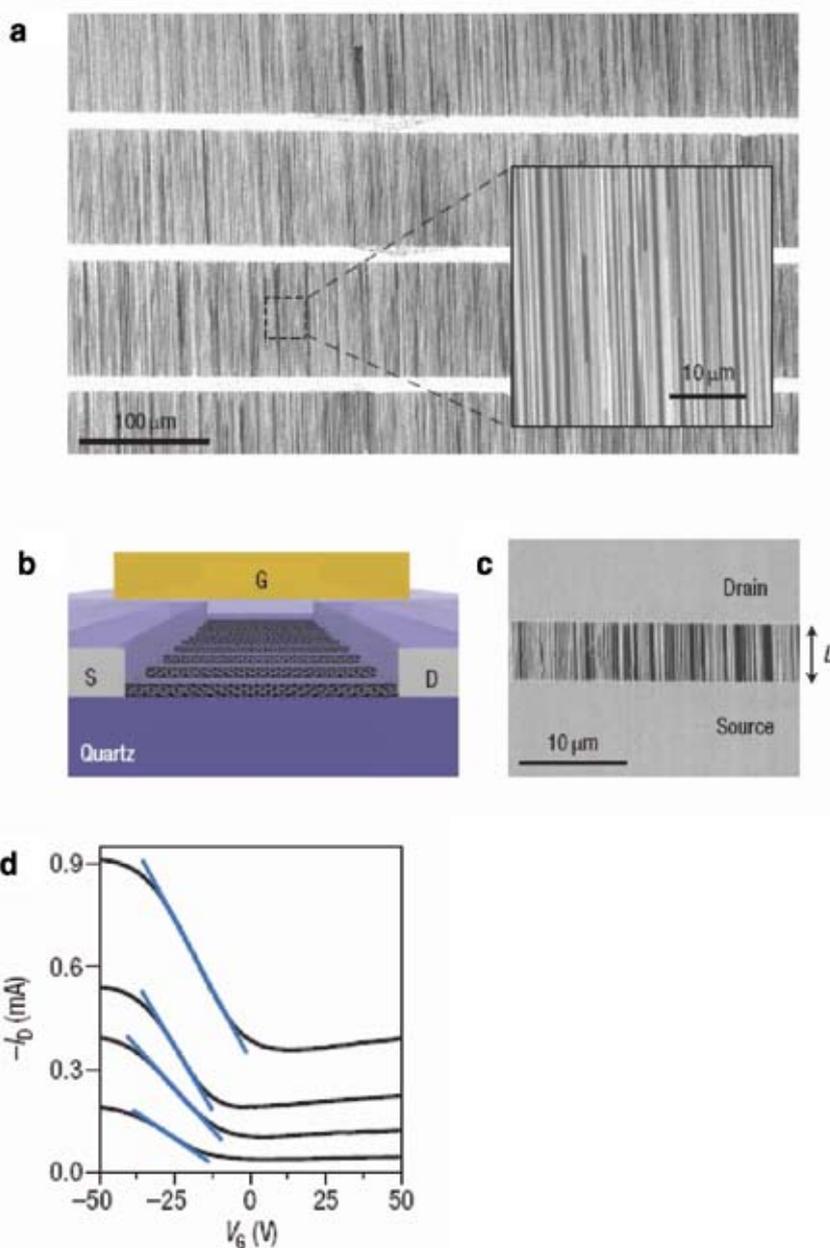
Recently researchers have used SWNTs as building blocks for solar-energy conversion devices in chemical cells with the basic idea to mimic a Graetzel cell without the use of a dye sensitizing element [46]. Two different physical mechanisms are at the basis for the use of carbon nanotubes in solar cells: direct bandgap excitation of semiconducting nanotubes and the use of conducting tubes as conduits to improve the transport of charge carriers from light-harvesting nanoassemblies.

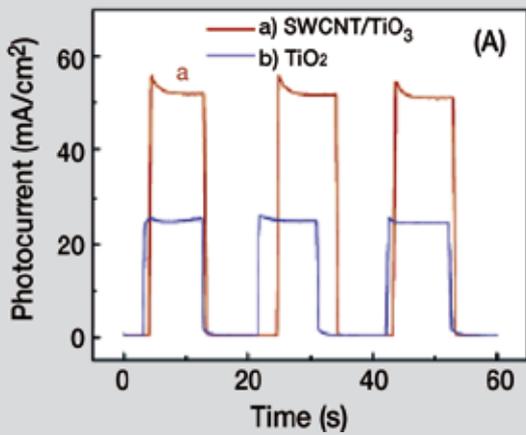
The first experiment on an electrochemical solar cell was performed by Kamat and co-authors [47]. The maximum photocurrent generated was $8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ at 400 nm, while the maximum incident photon conversion efficiency (IPCE) was only 0.15% at 400 nm. Photoexcitation of the nanotubes generated $e-h$ pairs within their one-dimensional band structure characterized by van Hove singularities resulting in the formation of bound excitons.

The ionization of excitons creates charge-separated states that become an important process for photocurrent generation. When the carbon nanotubes are measured in an electrochemical cell a redox mechanism ensures a steady current between two electrodes (one of the two covered by the nanotubes).

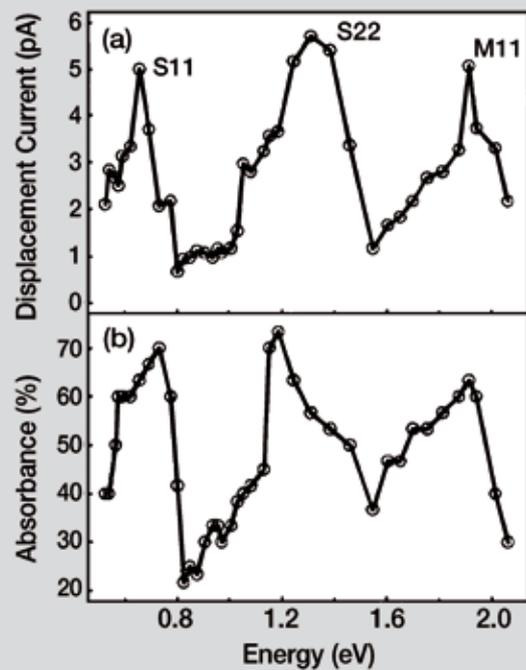
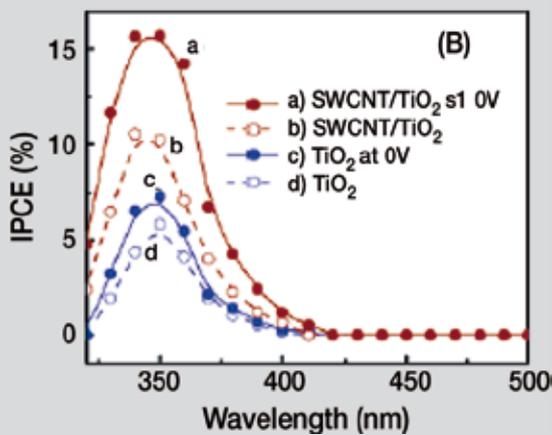
Recently, Castrucci *et al.* [48] demonstrated that also MWCNTs are able to generate a photocurrent varying as a function of the excitation photon energy. In this work MWCNTs showed photon-to-current conversion efficiency up to 7%, *i.e.* about 50 times higher than that of SWCNTs.

A lot of work has been made to realize





11



12

photochemical solar cells based on hybrid architectures to improve the capture of photogenerated charges and their transport to the electrode surface. A considerable increase of photoconversion efficiency has been obtained from a CdS-SWNT composite [49] and using SWNTs as conducting scaffolds in a TiO₂ semiconductor as shown in fig. 11 [50]. Another successful utilization of SWNTs was the realization of organic/inorganic solar cells. SWNTs have a characteristic curve-shaped surface that facilitates binding of large organic molecules via noncovalent or hydrophobic interactions. Molecules such as porphyrin have an affinity to bind noncovalently with SWNTs through π - π interactions. Exploiting this property, ordered assembly of SWNTs together with porphyrin systems as photoactive electrode of a photoelectrical solar cell have been realized and their performance has been tested [51, 52]. This system gives rise to promising solar-energy conversion efficiencies, up to 8.5%. Recently a decoration of MWNTs through Cu nanoparticles has been demonstrated to enhance the measured IPCE of a factor 10 [53].

Besides, the possibilities to exploit the nanotubes to realize solid-state devices like photovoltaic cells are undergoing intense research study.

Photoconductivity of SWNTs [54, 55] has been observed giving the possibility to fabricate optical detectors over a wide infrared and visible range. Freitag [54] measured the infrared laser-excited photoconductivity from a single carbon nanotube constituting the channel of a field-effect transistor.

The generated photocurrent showed resonances whose energies are in agreement with the energies of the transitions between the lowest van Hove singularities (see fig. 12) [55]. Lee [25] tested the photovoltaic effect of individual SWNTs forming ideal *p-n* junction diodes. The *I-V* characteristics at dark and under illumination of a 1.5 μm continuous laser are reported in fig. 13 as a function of the illuminated power and it shows the intrinsic photovoltaic behaviour of a carbon nanotube. A further step is the recent realization of a double-walled nanotube (DWNT) solar cell [56]. The solar cells consisted of a semitransparent

thin film of nanotubes coated on a *n*-type crystalline silicon substrate to create high-density *p-n* heterojunctions between nanotubes and *n*-Si to favor charge separation and extract electrons (through *n*-Si) and holes (through nanotubes) [56]. The device is shown in fig. 14. Initial tests have shown a power conversion efficiency of > 1%. Finally these photovoltaic effects have been measured for the first time in a network of multi-wall carbon nanotubes [57] thus realizing an optoelectronic solid-state device sensitive to infrared, visible and near-ultraviolet wavelength. Although the efficiency (QE) remains well lower than that measured with a silicon solar cell, this result is surprising and promising because it has been obtained through nanostructures synthesized in a relatively easy way and without the use of the additional and selective doping which is needed to obtain *p-n* junctions.

5 Conclusions

Carbon nanotubes present significant opportunities to basic science and nanotechnology and pose significant challenge for future work in this field. The approach of direct growth of nanotubes into ordered structures on surfaces is a promising route to approach nanoscale problems and create novel molecular-scale devices with advanced electrical, electromechanical and chemical functions. Gaining further control in nanotube growth will continue to open new possibilities in basic science and real-world applications. It is an ultimate goal for growth to produce defect-free nanotubes at massive level by simple and efficient methods, gain control over the nanotube chirality and diameter, and be able to direct the growth of a semiconducting or metallic nanotube from and to any desired sites. The photovoltaic effects are still in their infancy because of the small efficiency when compared to that of *p-n* silicon solar cells, but we feel that they are really promising materials for photon harvesting because they are at the same time the producer and the transporter of the carriers and they work without additional doping.

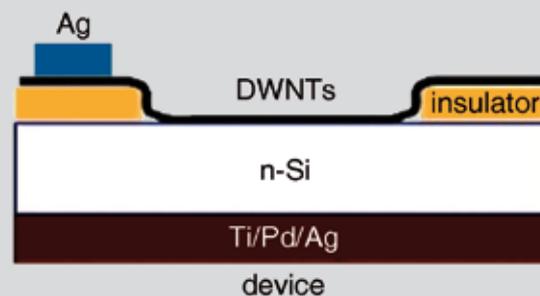
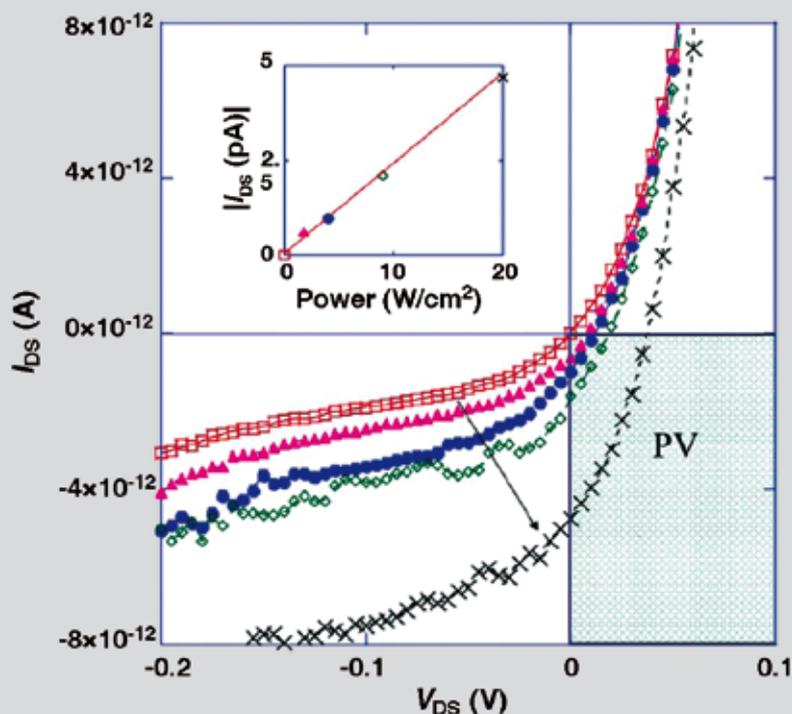


Fig. 11 (A) Photocurrent response vs. time profiles of SWCNT/TiO₂ (a) and TiO₂ (b) electrodes. (B) Photocurrent action spectra of SWCNT/TiO₂ (a, b) and TiO₂ (c, d) electrodes at no applied bias [50].

Fig. 12 (a) Photocurrent in SWNT. The two lowest energy semiconductor transitions (S11 and S22) and at the lowest-energy metallic transition (M11) are observed. (b) The absorbance measured for the same SWNT film under the same conditions [55].

Fig. 13 *I-V* characteristics under increased light intensity showing a progressive shift into the fourth quadrant (PV) where the diode generates power. The inset shows the expected linear increase in the current measured at $V_{DS} = 0$ with illuminated power [25].

Fig. 14 Illustration of the device of DWNT/*n*-Si solar cell. The as-grown DWNT films were fully expanded in a water solution and then transferred to a patterned Si substrate. From ref. [56].

References

- [1] S. Iijima, "Elicial microtubules of graphitic carbon", *Nature*, 354 (1991) 56.
- [2] R. Saito, M. Fujita, G. Dresselhaus and M. S. Dresselhaus, "Electronic structure of chiral graphene tubules", *Appl. Phys. Lett.*, 60 (1992) 6204.
- [3] N. Hamada, S. Sawada and A. Oshiyama, "New one-dimensional conductors: graphitic tubules", *Phys. Rev. Lett.*, 68 (1992) 1579.
- [4] T. W. Odom, J. L. Huang, P. Kim and C. M. Lieber, "Atomic structure and electronic properties of single-walled carbon nanotubes", *Nature*, 39 (1998) 62.
- [5] P. Kim, T. W. Odom, J.-L. Huang and C. M. Lieber, "Electronic Density of States of Atomically Resolved Single-Walled Carbon Nanotubes: Van Hove Singularities and End States", *Phys. Rev. Lett.*, 82 (1999) 1225.
- [6] L. C. Venema, J. W. Janssen, M. R. Buitelaar, J. W. G. Wildöer, S. G. Lemay, L. P. Kouwenhoven and C. Dekker, "Spatially resolved scanning tunneling spectroscopy on single-walled carbon nanotubes", *Phys. Rev. B*, 62 (2000) 5238.
- [7] M. Bockrath, D. H. Cobden, J. Lu, A. G. Rinzler, R. E. Smalley, L. Balents and P. L. McEuen, "Luttinger-liquid behaviour in carbon nanotubes", *Nature*, 397 (1999) 598.
- [8] R. Egger, A. Bachtold, M. Fuhrer, M. Bockrath, D. Cobden and P. McEuen, "Interacting Electrons in Nanostructures", edited by R. Haug and H. Schoeller, vol. 579 (Springer, Berlin) 2001.
- [9] S. Frank, P. Poncharal, Z. L. Wang and W. A. de Heer, "Carbon Nanotube Quantum Resistors", *Science*, 280 (1998) 1744.
- [10] J. Nygard, D. Cobden, M. Bockrath, P. McEuen and P. Lindelof, "Electrical transport measurements on single-walled carbon nanotubes", *Appl. Phys. A: Mater. Sci. & Process. A*, 69 (1999) 297.
- [11] Z. Yao, C. Dekker and P. Avouris, "Electrical transport through single-wall carbon nanotubes", in "Carbon Nanotubes", edited by M. S. Dresselhaus, G. Dresselhaus, and P. Avouris, *Topics Appl. Phys.*, vol. 80 (Springer, Berlin) 2001, p. 146.
- [12] P. Avouris, "Molecular electronics with carbon nanotubes", *Acc. Chem. Res.*, 35 (2002) 1026.
- [13] A. Bachtold, P. Hadley, T. Nakanishi and C. Dekker, "Logic Circuits with Carbon Nanotube Transistors", *Science*, 294 (2001) 1317.
- [14] C. Zhou, J. Kong, E. Yenilmez, and H. Dai, "Modulated Chemical Doping of Individual Carbon Nanotubes", *Science*, 290 (2000) 1552.
- [15] S. J. Tans, A. R. M. Verschueren and C. Dekker, "Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube", *Nature*, 393 (1998) 49.
- [16] R. Martel, T. Schmidt, H. R. Shea, T. Hertel and P. Avouris, "Single- and multi-wall carbon nanotube field-effect transistors", *Appl. Phys. Lett.*, 73 (1998) 2447.
- [17] C. Zhou, J. Kong and H. Dai, "Electrical measurements of individual semiconducting single-walled carbon nanotubes of various diameters", *Appl. Phys. Lett.*, 76 (2000) 1597.
- [18] S. J. Tans, M. H. Devoret, H. J. Dai, A. Thess, R. E. Smalley, L. J. Geerligs, and C. Dekker, "Individual single-wall carbon nanotubes as quantum wires", *Nature*, 386 (1997) 474.
- [19] M. Bockrath, D. H. Cobden and P. L. McEuen, "Single-Electron Transport in Ropes of Carbon Nanotubes", *Science*, 275 (1997) 1922.
- [20] H. J. Li, W. G. Lu, J. J. Li, X. D. Bai and C. Z. Gu, "Multichannel Ballistic Transport in Multiwall Carbon Nanotubes", *Phys. Rev. Lett.*, 95 (2005) 086601.
- [21] F. Bussolotti, L. D'Ortenzi, V. Grossi, L. Lozzi, S. Santucci and M. Passacantando, "In situ manipulation and electrical characterization of multiwalled carbon nanotubes by using nanomanipulators under scanning electron microscopy", *Phys. Rev. B*, 76 (2007) 125415.
- [22] A. Fujiwara, Y. Matsuoka, H. Suematsu, N. Ogawa, K. Miyano, H. Kataura, Y. Maniwa, S. Suzuki, and Y. Achiba, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 40 (2001) L1229.
- [23] J. Wei, J. Sun, J. Zhu, K. Wang, Z. Wang, J. Luo, D. Wu and A. Cao, "Carbon nanotube macrobundles for light sensing", *Small*, 2 (2006) 988.
- [24] J. A. Misewich, R. Martel, Ph. Avouris, J. C. Tsang, S. Heinze and J. Tersoff, "Electrically Induced Optical Emission from a Carbon Nanotube FET", *Science*, 300 (2003) 783.
- [25] J. U. Lee, "Photovoltaic effect in ideal carbon nanotube diodes", *Appl. Phys. Lett.*, 87 (2005) 073101.
- [26] A. Kongkanand, R. Martinez Dominguez and P. V. Kamat, "Single Wall Carbon Nanotube Scaffolds for Photoelectrochemical Solar Cells. Capture and Transport of Photogenerated Electrons", *Nano Lett.*, 7 (2007) 676.
- [27] J. Kong, N. R. Franklin, C. Zhou, M. G. Chapline, S. Peng, K. Cho and H. Dai, "Nanotube Molecular Wires as Chemical Sensors", *Science*, 287 (2000) 622.
- [28] L. Valentini, C. Cantalini, I. Armentano, J. M. Kenny, L. Lozzi and S. Santucci, "Highly sensitive and selective sensors based on carbon nanotubes thin films for molecular detection", *Diamond Relat. Mater.*, 13 (2004) 1301.
- [29] J.-M. Bonard, K. A. Dean, B. F. Coll and C. Klinker, "Field Emission of Individual Carbon Nanotubes in the Scanning Electron Microscope", *Phys. Rev. Lett.*, 89 (2002) 197602.
- [30] H. Sugie, M. Tanemura, V. Filip, K. Iwat, K. Takahashi and F. Okuyama, "Carbon nanotubes as electron source in an x-ray tube", *Appl. Phys. Lett.*, 78 (2001) 2578.
- [31] J. Zhang, G. Yang, Y. Cheng, B. Gao, Q. Qiu, Y. Z. Lee, J. P. Lu and O. Zhou, "Stationary scanning x-ray source based on carbon nanotube field emitters", *Appl. Phys. Lett.*, 86 (2005) 184104.
- [32] W. B. Choi et al., "Fully sealed, high-brightness carbon-nanotube field-emission display", *Appl. Phys. Lett.*, 75 (1999) 3129.
- [33] M. Croci, I. Arfaoui, T. Stöckli, A. Chatelain and J.-M. Bonard, "A fully sealed luminescent tube based on carbon nanotube field emission", *Microelectron. J.*, 35 (2004) 329.
- [34] C. Qin and L.-M. Peng, "Measurement accuracy of the diameter of a carbon nanotube from TEM images", *Phys. Rev. B*, 65 (2002) 155431.
- [35] L. C. Qin, T. Ichihashi and S. Iijima, "On the

- measurement of helicity of carbon nanotubes", *Ultramicroscopy*, 67 (1997) 181.
- [36] X. B. Zhang, X. F. Zhang, S. Amelinckx, G. Van Tendeloo and J. Van Landuyt, "The reciprocal space of carbon tubes: a detailed interpretation of the electron diffraction effects", *Ultramicroscopy*, 54 (1994) 237.
- [37] L. Langer *et al.*, "Electrical resistance of a carbon nanotube bundle", *J. Mater. Res.*, 9 (1994) 927.
- [38] M. Terrones *et al.*, "Novel nanotubes and encapsulated nanowires", *Appl. Phys. A*, 66 (1998) 307.
- [39] H. Dai, E. W. Wong, C. M. Lieber, "Probing Electrical Transport in Nanomaterials : Conductivity of Individual Carbon Nanotubes", *Science*, 272 (1996) 523.
- [40] T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. Hiura, J. W. Bennett, H. F. Ghaemi, T. Thio, "Electrical-conductivity of individual carbon nanotubes", *Nature*, 382 (1996) 54.
- [41] A. Thess *et al.*, "Crystalline Ropes of Metallic Carbon Nanotubes", *Science*, 273 (1996) 483.
- [42] P. G. Collins, H. Bando, A. Zettl, "Nanoscale electronic devices on carbon nanotube", *Nanotechnology*, 9 (1998) 153.
- [43] P. Castrucci, M. Scarselli, M. De Crescenzi, M. A. El Khakani, F. Rosei, N. Braidı, J.-H. Yi, "Effect of coiling on the electronic properties along single-wall carbon nanotubes", *Appl. Phys. Lett.*, 85 (2004) 3857.
- [44] H. B. Peng *et al.*, "Patterned growth of single-walled carbon nanotube arrays from a vapor-deposited Fe catalyst", *Appl. Phys. Lett.*, 83 (2003) 4238.
- [45] S. J. Kang *et al.*, "High-performance electronics using dense, perfectly aligned arrays of single-walled carbon nanotubes", *Nature Nanotech.* 2 (2007) 230.
- [46] B. O'Regan, M. Graetzel, "A low-cost, high efficiency solar cells based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", *Nature*, 353 (1991) 737.
- [47] S. Barazzouk, S. Hotchandani, K. Vinodgopal and P. V. Kamat, "Single-Wall Carbon Nanotube Films for Photocurrent Generation. A Prompt Response to Visible-Light Irradiation", *J. Phys. Chem. B*, 108 (2004) 17015.
- [48] P. Castrucci, M. De Crescenzi *et al.*, "Large photocurrent generation in multiwall carbon nanotubes", *Appl. Phys. Lett.*, 89 (2006) 253107.
- [49] I. Robel, B. A. Bunker, P. V. Kamat, "Single-Walled Carbon Nanotube-CdS Nanocomposites as Light-Harvesting Assemblies: Photoinduced Charge-Transfer Interactions", *Adv. Mater.*, 17 (2005) 2458.
- [50] A. Kongkanand, R. M. Dominguez and P. V. Kamat, "Single wall carbon nanotube scaffolds for photoelectrochemical solar cells: capture and transport of photogenerated electrons", *Nano Lett.*, 7 (2007) 676.
- [51] D. M. Guldi, G. M. A. Rahman, M. Prato, N. Jux, S. Qin, and W. Ford, "Single-Wall Carbon Nanotubes as Integrative Building Blocks for Solar-Energy Conversion", *Angew. Chem. Int. Ed.*, 44 (2005) 2015.
- [52] T. Hasobe, S. Fukuzumi, P. V. Kamat, "Organized Assemblies of Single Wall Carbon Nanotubes and Porphyrin for Photochemical Solar Cells", *J. Phys. Chem. B.*, 110 (2006) 25477.
- [53] M. Scarselli, M. De Crescenzi *et al.*, "Multiwall carbon nanotubes decorated with copper nanoparticles: effects on the photocurrent response", *J. Phys. Chem B*, 113 (2009) 5860.
- [54] M. Freitag, Y. Martin, J. A. Misewich, R. Martel, P. H. Avouris, "Photoconductivity of Single Carbon Nanotubes", *Nano Lett.*, 3 (2003) 1067.
- [55] A. Mohite, S. Chakraborty, P. Gopinath, G. U. Sumanasekera and B. W. Alphenaar, "Displacement current detection of photoconduction in carbon nanotubes", *App. Phys. Lett.*, 86 (2005) 061114.
- [56] J. Wei, Y. Jia, Q. Shu, Z. Gu, K. Wang, D. Zhuang, G. Zhang, Z. Wang, J. Luo, A. Cao, and D. Wu, "Double-Walled Carbon Nanotube Solar Cells", *Nano Lett.*, 8 (2007) 2317.
- [57] M. Passacantando *et al.*, "Photoconductivity in defective carbon nanotube sheets under ultraviolet-visible-near infrared radiation", *Appl. Phys. Lett.*, 93 (2008) 051911.

Maurizio De Crescenzi

Maurizio De Crescenzi is full professor of Structure of Matter at Roma Tor Vergata University. He has internationally recognized experience in Surface Science studies using Electron Energy Loss, XPS, Scanning Tunneling Microscopy and Atomic Force Microscopy, and is the leader of a nanostructures group in the Department of Physics of Roma Tor Vergata University. He has contributed actively to the development of electron spectroscopic techniques as a local surface structural tool: EELFS (Extended Energy Loss Fine Structure) and EXFAS (Extended Fine Auger Structure). On these topics he has given invited talks and oral presentations at topical Surface Science Conferences. His main field of investigations are: growth of nanostructures of Ge/Si and Fe/Cu/Si ultrathin films through MBE processes, synthesis of silicon carbide nanostructures, synthesis of carbon nanotubes, nanotubes visualization through STM and AFM microscopy, optoelectronic investigation of nanostructures. He has organized several International conferences on nanostructures, he published more than 230 papers with peer review and a book on electron spectroscopies.

PHOTONS ON A LEASH

ELECTROMAGNETICALLY INDUCED TRANSPARENCY IN SOLIDS

GIUSEPPE LA ROCCA¹, MAURIZIO ARTONI^{2,3}

¹ *Scuola Normale Superiore and CNISM, Pisa*

² *Department of Physics and Chemistry of Materials and CNR-INFM Sensor Laboratory, University of Brescia, Brescia*

³ *European Laboratory for Non-linear Spectroscopy (LENS), Florence*

In memory of Giuseppe Franco Bassani

Quantum coherence and interference can be used to control the light-matter interaction and the propagation of light in multilevel systems. Effects of electromagnetically induced transparency based on exciton and biexciton levels or on impurity levels in solid-state media are here reviewed. New photonic crystal structures created via coherent optical nonlinearities in such solid media are also considered and discussed.

1 Introduction

The effort to understand and control the light-matter interaction is a key issue on the materials science agenda both from the point of view of basic science and of technological applications. It has been tackled both from the side of “matter”, searching for novel functional materials with improved optical properties, and from the side of “light”, designing appropriate dielectric structures to mould the photon modes. As examples of the first strategy, we recall the developments in the field of semiconductor nanostructures in which the electronic properties can be engineered and in the field of organic materials in which the molecules, and to some extent the crystalline structure, can be chemically functionalized. The second line of attack has led, for instance, to the recent advances in the field of photonic crystals in which the photon modes are rearranged in bands separated by gaps just as for electrons in semiconductors, and of semiconductor microcavities which are a solid-state analogue of the atomic ones used in cavity quantum electrodynamics.

One of the major aim of these research lines is to provide systems with large all-optical nonlinearities. The capability of controlling light by light is instrumental to the development of all-optical information storage and processing techniques, including quantum computing at the single photon level.

In this respect, there is usually a trade-off between the beneficial effect of the enhanced nonlinear response at resonance with specific electronic transitions and the detrimental effect of the concomitant resonant absorption. However, quantum coherence and interference effects turn out to be beneficial in circumventing this problem [1]. Three-level systems coupled to two light fields may, in fact, exhibit transparency effects that result from the cancellation of absorption at a resonant transition frequency. These effects are induced by one of the two light fields (the coupling beam) upon modifying the medium optical response to the other field (the probe beam). The large degree of transparency in a medium which would otherwise be opaque has then been termed electromagnetically induced transparency (EIT) [2].

This phenomenon has only recently been considered in solid-state media, though it has long been known in atomic systems. The spectroscopic effect that lies at the foundation of EIT, *i.e.* coherent population trapping (CPT) [3], was discovered by Gozzini's group in Pisa in the seventies when a peculiar effect, the so-called “black line”, was observed in optical pumping experiments with sodium atoms. When the difference in frequency between two modes of a multimode laser happened to be equal to the separation between two Zeeman sublevels of the two $3S$ hyperfine split electronic ground states, both coupled to the same $3P$ excited state of the sodium $D1$ line, no absorption took place and hence no fluorescence off the excited state was observed. Quantum coherence was the key to such an intriguing effect as the $3S$ ground-state doublet is pumped into a coherent superposition state where the population is trapped due to destructive interference between the two distinct absorption paths to the excited $3P$ level. Long after this pioneering experiment, CPT has revived the interest of the scientific community as it lays at the heart of important phenomena such as subrecoil laser cooling, lasing without inversion and adiabatic transfer [3]. In optically dense

media, under analogous conditions as for CPT, the propagation properties of the resonant probe light itself are drastically modified leading to EIT. In particular, by using a typical three-level lambda configuration, an astonishing control on light wave propagation has been observed in sub-millimeter-sized cigar-shaped clouds of alkali atoms cooled to within a millionth of a degree above absolute zero. In such samples, group velocities as low as one meter per second and light pulse storage and retrieval have been attained, which opens the way to potential applications to all-optical quantum information processing [4].

For many potential applications, however, solid-state solutions are preferred. In such media, unfortunately, decoherence takes place rather quickly which makes the effects of electromagnetically induced transparency rather difficult to observe with respect to the atomic case, and comparatively little has been done so far in solid media. Yet, EIT effects have been observed in semiconductor quantum wells and in a class of solid materials exhibiting defect states, such as *e.g.*, presodium-doped Y_2SiO_5 and diamond containing nitrogen-vacancy (N-V) color centers [4]. In both cases, inhomogeneous broadening plays a very significant role. Efficient solid-state solutions should rely on materials that exhibit strong light-matter interactions and little dephasings. Fairly strong optical transitions may be found in some familiar semiconductors which in turn exhibit a variety of three-level configurations in which destructive interference could be induced and whose optical response could be controlled. Narrow intrinsic resonances associated with delocalized free excitons (bound states of one electron and one hole, akin to a hydrogen atom) or exciton-polaritons (coherent superpositions of the resonant exciton and photon states mixed by the light-

matter interaction) and biexcitons (bound states of two excitons, akin to a hydrogen molecule) in covalent semiconductor crystals are promising in this respect.

After a discussion of the basics of EIT, we briefly review here our own results on electromagnetically induced transparency based on intrinsic free-exciton and biexciton states as well as on color center levels in diamond. We specifically examine the case of copper oxide crystal (Cu_2O) where, akin to the atomic case, transparency may be induced through a lambda configuration obtained from the yellow series of exciton states, and the case of cuprous chloride crystal ($CuCl$) where a tunable transparency effect in the exciton-polariton stop band may be induced through a ladder configuration of exciton-biexciton transitions. While the former is found to be suited to investigate how EIT may be used to control light dragging in moving media and the emission of Cherenkov radiation by fast charges, the latter is most appropriate to study how the coherent control of the strong light-matter coupling regime could be achieved. Finally, we consider a scheme to realize all-optically induced photonic band gaps based on a standing wave EIT configuration which can be implemented with nitrogen-vacancy color centers in diamond. Such tunable photonic crystals are amenable to applications in optical switching, light storage and quantum nonlinear optics.

2 The basic mechanism of EIT

In the EIT regime, the cancellation of absorption relies on a process involving quantum interference between the atomic coherences in a three-level configuration, typically a lambda scheme or a ladder scheme as shown in fig.1, excited by two laser fields, the coupling beam and the probe beam, with frequencies ω_c and ω_p and Rabi

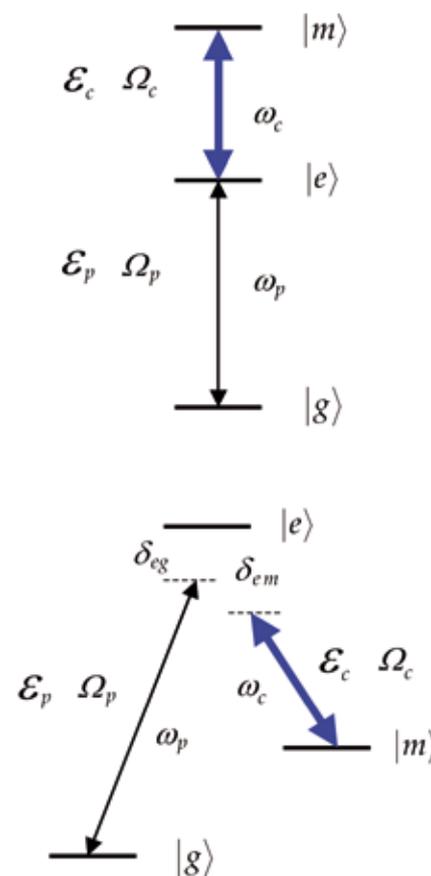


Fig. 1 Basic schemes leading to electromagnetically induced transparency (EIT). These are defined by the relative energies of the three states: (upper) a ladder (or cascade) scheme $E_g < E_e < E_m$, (lower) a lambda scheme with $E_g < E_m < E_e$. State $|m\rangle$ in the lambda scheme need not be a ground state; however, in a symmetric lambda, E_g and E_m are almost degenerate. As for coherent population trapping (CPT), the two photon (Raman) resonance condition should be met (*i.e.*, $\delta_{eg} = \delta_{em}$ in this sketch), yet the strength of one of the two applied fields could be appreciably larger than that of the other ($\Omega_p \ll \Omega_c$).

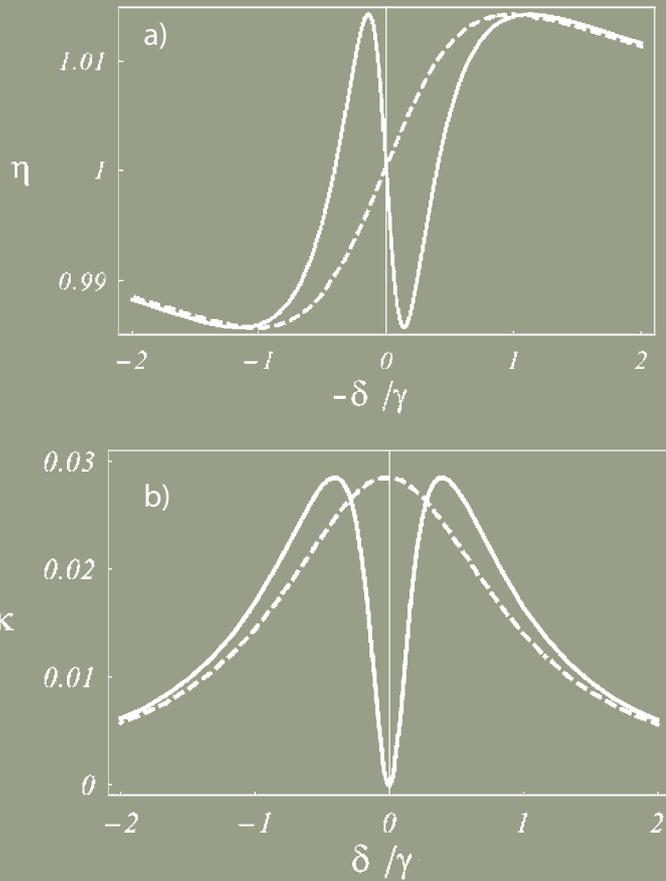


Fig. 2 Real (a) and imaginary (b) part of the probe refractive index n as a function of the normalized probe detuning in the absence (dashed) and in the presence (solid) of a resonant coupling beam with Rabi frequency $\Omega_c = 0.8 \gamma$. Due to destructive interference the imaginary part κ , associated with the medium absorption, vanishes at exact resonance when the coupling field is on. The real part η , which determines the medium dispersion, is likewise modified in the presence of the coupling field and acquires a steep slope around resonance.

frequencies Ω_c and Ω_p , respectively, coupled to the e-m transition and to the e-g transitions. The Rabi frequencies are given in terms of the corresponding electric-field amplitudes and electric-dipole transition matrix elements by $\hbar\Omega_c = E_c \mu_{em}$ and $\hbar\Omega_p = E_p \mu_{eg}$. Referring to the three-level lambda scheme, the two transition amplitudes from the two lower states $|g\rangle$ (ground state) and $|m\rangle$ (metastable stable) to the common higher state $|e\rangle$ (excited state) interfere destructively if the Raman resonance condition $\hbar(\omega_p - \omega_c) = E_m - E_g$ is met. Most importantly, the key parameters for the occurrence of EIT are the relaxation rates and, in particular, the decay rate γ_{gm} of the coherence between the $|m\rangle$ and $|g\rangle$ states which should be small (typically a few orders of magnitude smaller than that of the optical coherence between the excited and ground level), and in this sense the state $|m\rangle$ should be metastable.

Formally coherences are identified with the off-diagonal elements of the density matrix ρ_{ij} , and most calculations on EIT effects in three-level systems are therefore developed in terms of the density matrix equations, including phenomenological relaxation terms, coupled to the propagation equations for the optical fields as given by the macroscopic Maxwell's equations [1]. Within the context of a density matrix formulation the interference that leads to induced transparency manifests itself in the vanishing of the optical coherence ρ_{eg} . This stems from the existence of the coherence ρ_{mg} , which is coupled to it and which only appears when the coupling laser beam is present. The contribution from ρ_{mg} to ρ_{eg} cancels, at the Raman resonance, with the direct contribution driving ρ_{eg} due to the applied probe field. From an alternative theoretical viewpoint, the probability amplitude for an absorption and emission cycle contains additional terms with respect to the usual one in which the atom is first excited from $|g\rangle$ to $|e\rangle$, and then directly decays to $|g\rangle$ by spontaneous emission. In the presence of the coupling beam, additional quantum-mechanical paths are indeed available: after being excited to $|e\rangle$, the atom can emit a photon by stimulated emission to the coupling beam corresponding to a $|e\rangle$ to $|m\rangle$ transition and re-absorb it, before decaying from $|e\rangle$ back to $|g\rangle$ by spontaneous emission, or also, more photons can be coherently exchanged with the coupling beam before spontaneous decay. Summing up to all orders in the strong coupling field the amplitudes of all these paths, in Raman resonance and for appropriate parameter values, the total amplitude of the process is suppressed by destructive interference and, thus, the resonant absorption quenched.

A very useful conceptual picture is also provided by the dressed state approach: the presence of the coupling beam dresses the medium mixing states $|e\rangle$ and $|m\rangle$ so that the resonant absorption from state $|g\rangle$ no longer takes place into the bare state $|e\rangle$, but rather into a doublet of dressed states with a probability amplitude affected by quantum

interference. This leads in turn to a narrow transparency window within the resonant peak of the imaginary part of the optical susceptibility experienced by the probe, and a corresponding strong dispersion of the real part. As a matter of fact, the dressed complex susceptibility χ experienced by the probe can be written as,

$$(1) \chi = (|\mu_{eg}|^2 N (\delta + i\gamma_{gm}) / (2\hbar \epsilon_0 V)) / [(\Omega_c^2/4) - (\delta + i\gamma_{gm})(\delta + i\gamma)],$$

where the coupling beam has been assumed on resonance ($\delta_{em} = 0$), the probe detuning is $\hbar\delta = \hbar\omega_p - (E_e - E_g) = -\hbar\delta_{eg}$, the decay rate of the optical coherence between the $|e\rangle$ and $|g\rangle$ states is γ and the atomic density is N/V .

The corresponding real and imaginary parts of the refractive index $n = \eta + i\kappa = \sqrt{1 + \chi}$ associated with the medium dispersion and absorption, respectively, are plotted in fig. 2 as a function of the probe detuning δ . The absorption vanishes at exact resonance and this is a striking result when compared with the situation in which the coupling field is absent ($\Omega_c = 0$) as this can make an otherwise completely opaque medium transparent to a resonant probe. As a consequence, a probe pulse in the EIT regime can propagate through the medium, but at a greatly reduced group velocity $v_g = (d\omega/dk) = c / (\eta + \omega d\eta/d\omega) \ll c$, due to the steep variation of $\eta(\omega_p)$.

3 EIT based on the yellow exciton levels in Cu₂O

A promising solid-state system for EIT has been identified in an undoped bulk semiconductor exhibiting sharp free-exciton lines that correspond to intrinsic delocalized electronic states. Specifically, we have considered [5] the "yellow exciton" series in Cu₂O for which an asymmetric lambda-type model Hamiltonian can be developed using the ground state of the crystal as state $|g\rangle$, a weakly allowed sublevel of the $2P$ exciton as state $|e\rangle$ and a forbidden $1S$ exciton sublevel as state $|m\rangle$, with the probe resonant frequency in the visible and the coupling resonant frequency in the infrared (see inset of fig. 4). For such a choice, all the relevant spectroscopic parameters are known and, thus, a realistic calculation can be made leading to a susceptibility of the same form as in eq. (1), where specifically $\gamma = 1$ meV and $\gamma_{gm} = 0.1$ meV. We show in fig. 3 both cases of a resonant and a non-resonant coupling: in the absence of the coupling beam the probe is absorbed (solid grey curve) while in its presence increasing degrees of transparency are observed to depend on increasing values of the pump beam intensity for a fixed detuning. The pump laser that couples the levels $|m\rangle$ and $|e\rangle$ splits the probe absorption line into two components each centered

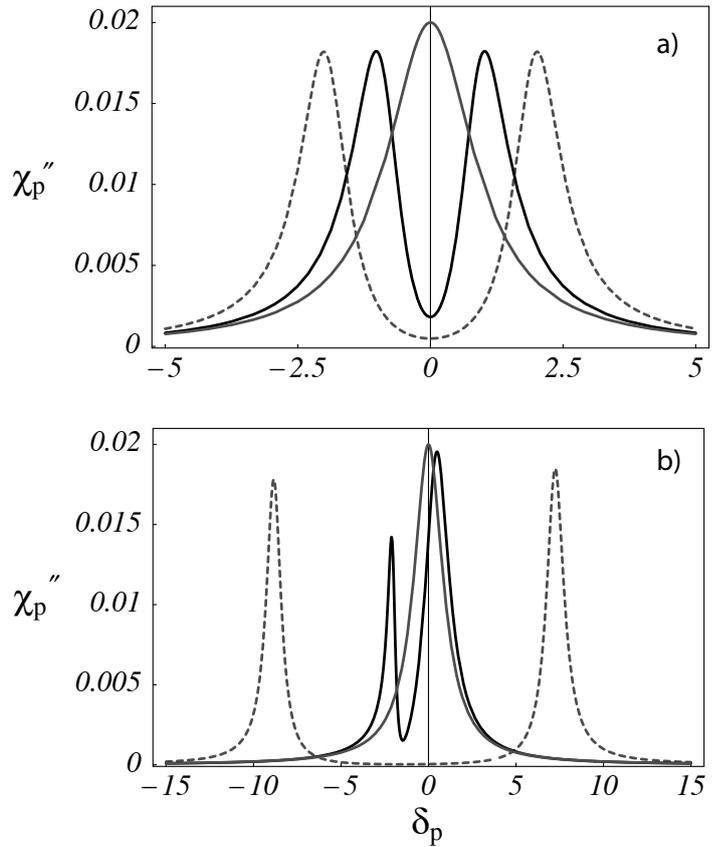


Fig. 3 Imaginary part of the susceptibility vs. the detuning δ_{eg} in units of γ . The upper and lower frame refer, respectively, to a resonant and non-resonant coupling beam with detuning $\delta_{em} = -1.6\gamma$. The coupling Rabi frequencies are (a) $\Omega_c/\gamma = 2$ (solid), 4 (grey dash) and (b) 2 (solid), 16 (grey dash). In the absence of the coupling beam the susceptibility is described by the solid grey curve [5].

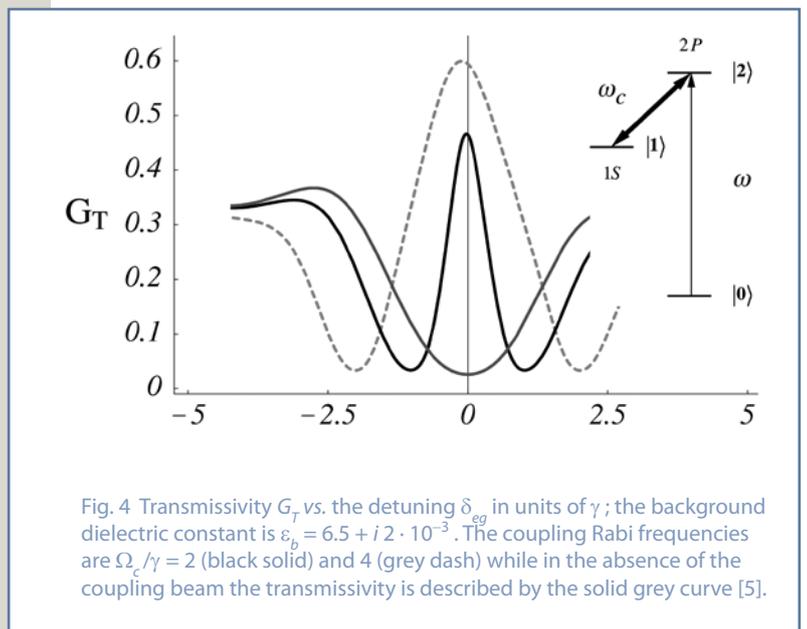


Fig. 4 Transmissivity G_T vs. the detuning δ_{eg} in units of γ ; the background dielectric constant is $\epsilon_b = 6.5 + i 2 \cdot 10^{-3}$. The coupling Rabi frequencies are $\Omega_c/\gamma = 2$ (black solid) and 4 (grey dash) while in the absence of the coupling beam the transmissivity is described by the solid grey curve [5].

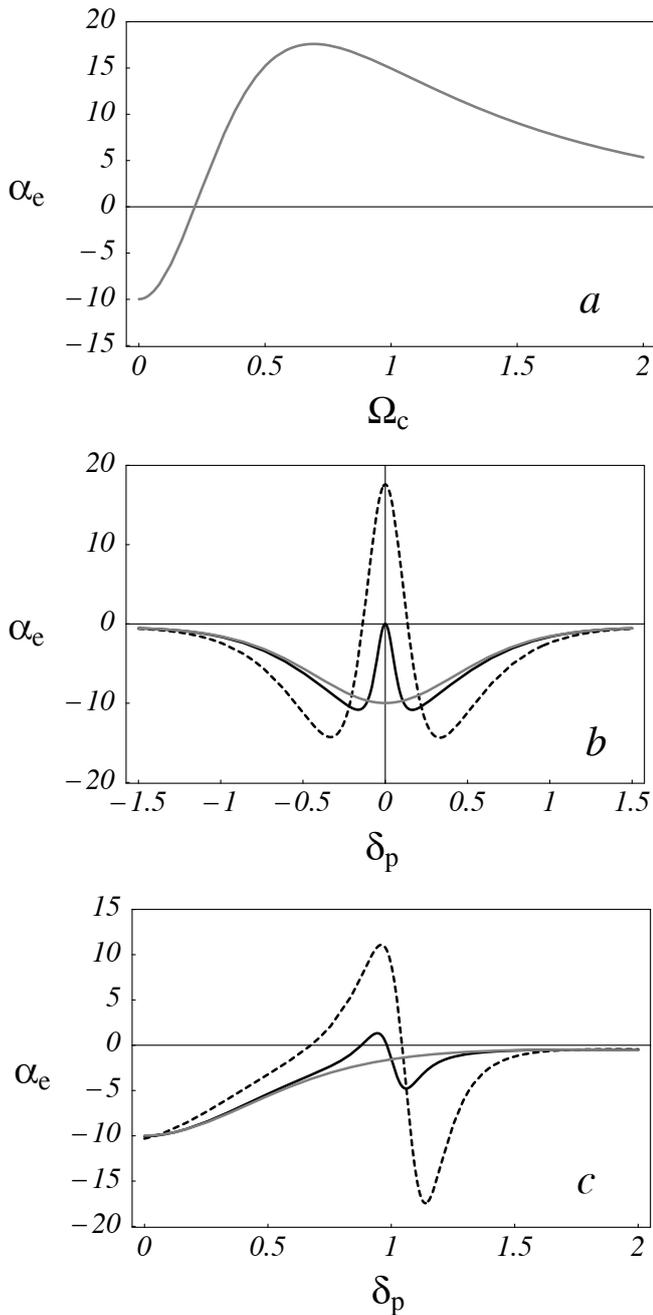


Fig. 5 Effective drag coefficient α_e vs. Rabi frequency Ω_c in units of γ for a resonant probe (a). Coefficient α_e vs. the detuning δ_{eg} for a coupling Rabi frequency $\Omega_c/\gamma = 0$ (grey), 0.18 (solid) and 0.7 (dash) for a resonant (b) and detuned (c) pump with $\delta_{em}/\gamma = 1$ [7].

at the transition frequencies from the ground state $|g\rangle$ to the two dressed excited states created by the coupling beam. These two components are separated by an amount that is equal to the ac Stark splitting $\Delta = \sqrt{(\Omega_c^2 + \delta_{em}^2)}$. For small Stark splittings, and roughly not exceeding twice the value of the dephasing γ of the ground to $2P$ transition, we observe a minimum in the absorption whenever the probe detuning equals that of the pump. The fact that the minimum occurs at the equal-detuning frequency, *i.e.* at the Raman resonance condition $\delta_{eg} = \delta_{em}$, is a manifestation of the induced coherence over the non-allowed transition between the ground and the $1S$ level. Under these conditions, such a reduction can be explained in terms of electromagnetically induced transparency as a combination of the Stark splitting and the destructive quantum interference between two different absorption paths from the ground state to the two dressed excited states. One could expect that (incoherent) bleaching or saturation effects would yield a similar absorption minimum; yet, these effects would be maximized for a probe close to resonance and not when it has the same detuning of the coupling beam. For large Stark splittings, on the other hand, the absorption is very small on the entire frequency range between the two well separated Autler-Townes sidebands. Such a uniform quenching does not originate from quantum interference because the upper doublet of dressed levels are now too far apart for the interference to take place.

The direct observation of induced transparency hinges on the actual transmission efficiency. We then consider the probe transmissivity G_T for a Cu_2O slab $35 \mu\text{m}$ thick at normal incidence, including an appropriate complex background dielectric constant, as shown in fig. 4. The quantum interference modifies the transmission linewidth in a non-trivial way, with the detunings and the coupling Rabi frequency being the free parameters to tailor the interference. In the absence of the pump, transmission would be quite small (G_T of the order of 10^{-2}) whereas when the coupling beam is on we can distinguish between two transparency regimes: one due to a large Stark splitting and the other due to quantum interference taking place, respectively, for strong- and weak-coupling intensities. For weak pumps, regardless of their detunings, the height of the transparency window increases appreciably more than its width does making the absorption to drop nearly 50%. The transmission linewidth can be subnatural ($< \gamma$) which is a typical feature of the electromagnetically induced transparency. Higher degrees of transparency are restrained more by the dephasing of the $1S$ to ground transition than by smaller thicknesses or higher coupling laser intensities; a smaller thickness would simply make the sample transparent altogether while higher pump-power densities would make the interference hard to achieve. On the other hand, by

reducing γ_{em} to half its value would produce a further 20% increase in the window height while its width would narrow down to nearly a third of γ . We stress in this respect that the value of $\gamma = 0.1$ meV used here is indeed rather conservative in view of recent experiments where a much narrower linewidth of the 1S exciton sublevels has been observed [6]. For sufficiently intense pumps, on the other hand, the transparency width increases more than the height does marking the transition to a large ac Stark splitting comprising a wide transparency band separated by two absorption dips in correspondence of the Autler-Townes sidebands.

4 Fresnel-Fizeau light drag and emission of Cherenkov radiation in the EIT regime

The slow light propagation characteristic of the EIT regime (see sect. 2) has a significant impact on many aspects of the electrodynamics of continuous media. In particular, we have shown that two important effects such as the Fresnel-Fizeau light drag [7] and Cherenkov emission [8] could be qualitatively and quantitatively affected by the presence of the external coupling beam.

The phase velocity of light depends on whether light propagates in a moving or in a stationary medium. This effect, which gives rise to the familiar Fresnel light drag, has been observed for the first time in Fizeau's flowing water experiment and had a profound influence on the change of the perception of the nature of space and time corresponding to special relativity. Light drags can be made to vary over a rather wide range of values when a slab of coherently driven Cu_2O cuprous oxide is used as a dragging medium, due to the steep dispersion accompanying EIT. In particular, in a typical interferometric experiment, the sensitivity at low drag velocities can be increased by at least one order of magnitude while having an appreciable transparency. On the other hand, one can also make the light drag to vanish over a broad range of probe frequencies depending on the pump parameters. This means that no fringe shift would be observed for light propagating through a moving medium with respect to light propagating through the same medium at rest. The dragging medium, taken for instance in the form of a parallel-sided slab of thickness L moving at velocity w , induces an optical phase shift which can be cast in the form

$$(2) \quad \Delta\phi = \beta\alpha_e(\omega L/c)$$

where $\beta = w/c$ and α_e is the effective drag coefficient which depends on the dressed susceptibility of the medium [7]. We report in fig. 5 numerical results for a resonant as well as a detuned pump. Due to the high dispersion at the 2P exciton EIT resonance, where the absorption is quenched by quantum interference, large as well as vanishing drags are

associated with an appreciable degree of transparency. At exact pump resonance, the effective drag coefficient reaches a very high value, whereas it vanishes for slightly detuned probes with a little smaller transparency.

A charged particle moving above a critical velocity in a dense medium emits an unusual type of radiation which was first observed in liquid media by Cherenkov and Vavilov, and later interpreted by Frank and Tamm. The study of such an effect was further extended to other condensed media where the emission of Cherenkov radiation turns out to be a very small fraction of the total energy lost by a fast charged particle. The loss of the incident particle energy is in fact mainly due to the ionization and to the excitation of the polarisable medium, however the Cherenkov contribution to the emitted radiation can be experimentally singled out from the particle total losses through the medium. In a resonant medium under the EIT regime, the external coupling field can qualitatively and quantitatively modify the energy loss of a fast charged particle due to Cherenkov emission [8]. Such effect can be described generalizing the theory of Cherenkov emission to the case of the dressed dielectric function appropriate for coherently driven Cu_2O as discussed above.

The first effect of the EIT regime is to select a narrow frequency range in which nearly resonant Cherenkov light can be efficiently emitted and then propagate with little absorption. As shown in fig. 6, this behaviour is prominent in coherently driven Cu_2O . The second effect is to modify the aperture θ of the cone on which the radiated energy is peaked (group cone) which in the EIT regime is much smaller than the aperture ϕ of the usual wave cone associated with

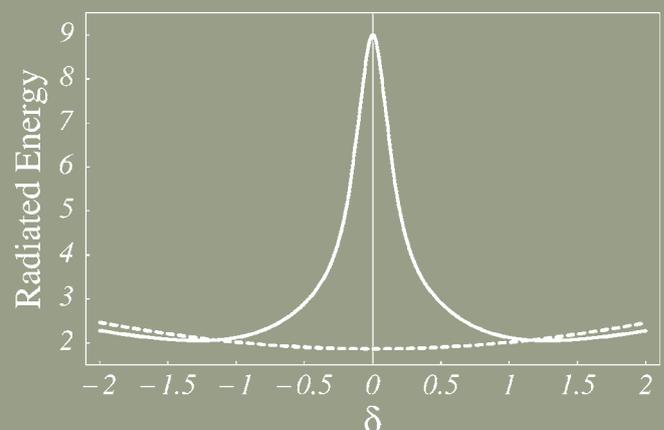


Fig. 6 Radiated energy in arbitrary units vs. the frequency detuning of the Cherenkov light in units of γ in the presence (solid) and in the absence (dash) of an external driving field. The charged particle velocity is $w = 0.9c$ and the coupling beam Rabi frequency is $\Omega_c/\gamma = 2$ (solid) [8].

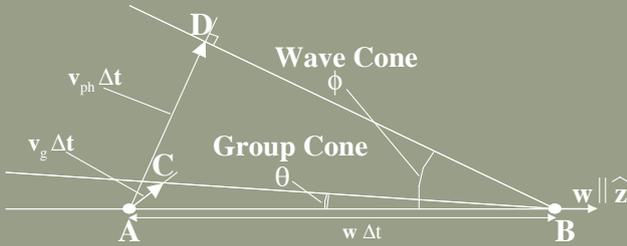


Fig. 7 Geometrical construction for the group cone. During the time Δt , the charge moves from A to B with velocity w , while the energy radiated in A propagates from A to C with a slow group velocity v_g . The straight line joining B and C is a generatrix of the group cone, while the line joining B and D is a generatrix of the wave cone determined by the phase velocity v_{ph} [8].

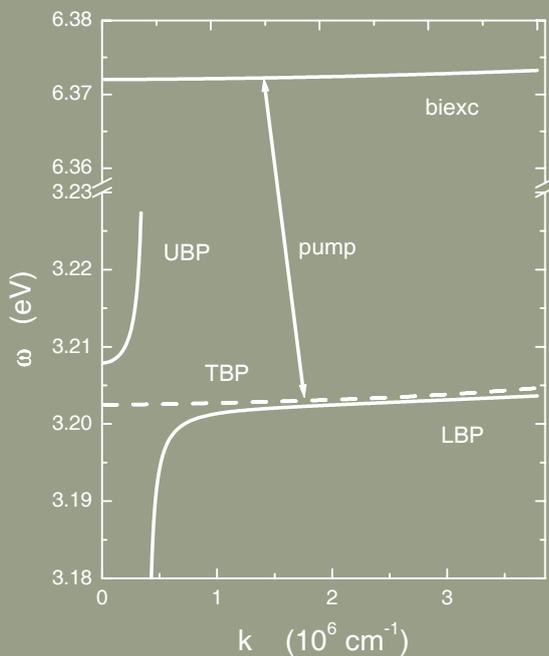


Fig. 8 Probe dispersion branches of coherently dressed CuCl. In the presence of the exciton-biexciton coupling pump, a third branch appears (dashed line) besides the usual upper and lower polariton ones. The frequency of the coupling beam is $\hbar\omega_c = 3.1695$ eV and its intensity corresponds to $\beta_c = 10^{-7}$ eV² [9].

the Cherenkov coherence condition which in isotropic, transparent non dispersive media is simply given by $\sin(\phi) = v_{ph}/w = 1/(n\beta)$. The effect is sketched in fig. 7 and it is simply due to the fact that the emitted Cherenkov light propagates with an ultraslow group velocity.

5 EIT based on exciton and biexciton levels in CuCl

Copper chloride (CuCl) is a prototype example of a semiconductor having an allowed interband transition and quite pronounced exciton and biexciton resonances. The conduction and valence bands of CuCl are parabolic and non-degenerate, with both extrema at the center of the Brillouin zone, opposite parities, and hole effective mass heavier than the electron one; as a consequence, exciton and biexciton in CuCl are a solid-state analogue of atomic and molecular hydrogen. Excitonic along with biexcitonic resonances may exhibit a variety of three-level configurations where EIT could in principle be achieved. In particular, a pump coherently driving the exciton-biexciton transition allows for a well-developed transparency within the exciton-polariton stop-band where a probe pulse may propagate, with a strongly reduced group velocity [9]. The large oscillator strength of the exciton-biexciton transition and the very narrow linewidth and long coherence time of the biexciton state with a small wave vector favor quite appreciable degrees of transparency. The phenomenon is similar to the EIT effects occurring in three-level atomic systems or in the forbidden yellow exciton in Cu₂O considered above, but the physics of the induced transparency within an otherwise reflecting stop-band relies here on a frequency and wave vector selective polaritonic mechanism [10], as in CuCl the one excitation eigenstates correspond to polariton states, *i.e.* coherent superpositions of the resonant exciton and photon states in the strong light-matter coupling regime. In fact, the Cu₂O exciton previously considered has a weak oscillator strength and hence negligible polaritonic effects making the basic physics underlying the phenomenon of EIT in that case much similar to the one occurring in atoms. Here, instead, the allowed exciton of CuCl exhibits a fully developed polaritonic stop-band and the delocalized nature of the intrinsic exciton-polariton or biexciton states having a well-defined wave vector k and a significant wave vector dispersion plays a crucial role, in strong contrast with the case of atomic levels having localized wave functions.

EIT can be induced in this case through a ladder scheme, in which a circularly polarized probe beam of frequency ω is nearly resonant with the transition from the crystal ground state to the exciton (having a parabolic dispersion $\omega_x(k) = \omega_T + \hbar k^2/(2m_x)$), while a pump beam having opposite circular polarization and frequency ω_c couples the exciton to the biexciton (having a parabolic dispersion

$\omega_m(k) = \omega_M + \hbar k^2/(2m_m)$). The CuCl response to a weak probe beam of frequency ω and wave vector \mathbf{k} , in the presence of the strong coupling beam of frequency ω_c and wave vector \mathbf{k}_c opposite to \mathbf{k} , turns out to be described by the following dressed dielectric constant,

$$(3) \quad \varepsilon(k, \omega) = \varepsilon_b [1 + \Delta_{LT}/(\hbar\omega_x(k) - \hbar\omega - i\gamma_x + \Sigma)] ,$$

with $\Sigma = \beta_c/(\hbar\omega + \hbar\omega_c - \hbar\omega_m(k - k_c) + i\gamma_m) ,$

where Σ describes the nonlinearity due to the coherent pump and β_c is proportional to the pump intensity and the oscillator strength of the exciton-biexciton transition. All the CuCl material parameters appearing in eq. (3), *i.e.*, the exciton and biexciton $k = 0$ energies $\hbar\omega_x$ and $\hbar\omega_M$, their masses m_x and m_m and linewidths γ_x and γ_m , the background dielectric constant ε_b , and the exciton longitudinal-transverse splitting Δ_{LT} are known from experiment. The expression for ε in eq. (3) has the typical three-level EIT form (analogous to eq. (1), but here for a ladder scheme). When Maxwell's equations are solved with such dielectric constant in the absence of the pump ($\Sigma \rightarrow 0$) one obtains the usual upper and lower polariton dispersion branches and a polaritonic stop-band within which the probe is nearly completely reflected. The presence of the exciton-biexciton coupling through the pump introduces a third dispersion branch in the frequency region of the exciton resonance and this affects the probe transmission within the forbidden stop-band which can indeed be completely controlled. The relevant probe dispersion branches, obtained simply from the equation $c^2 k^2/\omega^2 = \varepsilon(k, \omega)$ when all dampings are neglected are plotted in fig. 8, showing in this case how the pump-induced new branch and the lower polariton branch anticross. We show instead in fig. 9 the probe transmission spectra through a CuCl thin slab for different pump intensities and frequencies, with the inclusion of the exciton and biexciton dampings. A pronounced transparency window in correspondence of the pump-induced dispersion branch opens up within the polaritonic stop-band around a frequency $\omega = \omega_m(k - k_c) - \omega_c$, similarly to the usual EIT two-photon resonance condition. Unlike the exciton linewidth, the biexciton linewidth at a small wave vector γ_m results to condition the appearance of a transparency window, as expected in analogy with EIT in the ladder configuration in atomic systems. Differently from the case of EIT in atoms, the transparency frequency can be coherently controlled over a rather wide spectral range of several meV corresponding to the entire polaritonic stop-band. However, we remark that even within the transparency window the absorption is here still significant. Finally, we show in fig. 10 the delay experienced by a probe narrow Gaussian pulse propagating in the stop-band region of the coherently dressed thin slab. The pulse

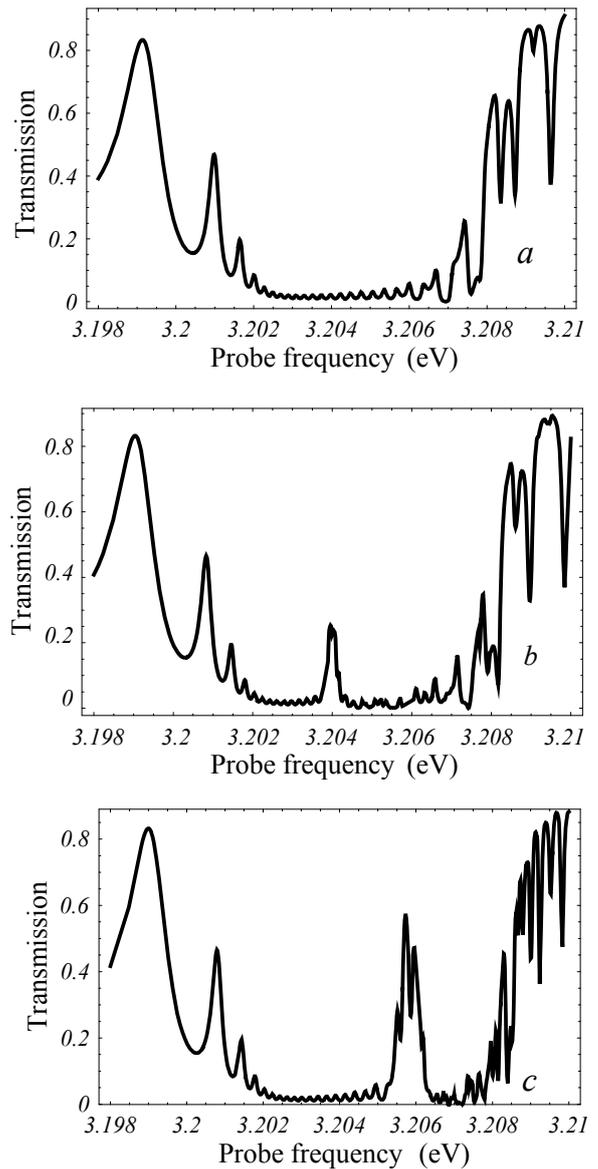


Fig. 9 Probe transmission spectra through a CuCl film 0.15 μm thick: a) no pump; b) with a pump of frequency $\hbar\omega_c = 3.168$ eV and intensity corresponding to $\beta_c = 5 \cdot 10^{-7}$ eV²; c) with a pump of frequency $\hbar\omega_c = 3.166$ eV and $\beta_c = 10^{-6}$ eV². The exciton and biexciton linewidths are $\gamma_x = 50$ μeV and $\gamma_m = 15$ μeV [9].

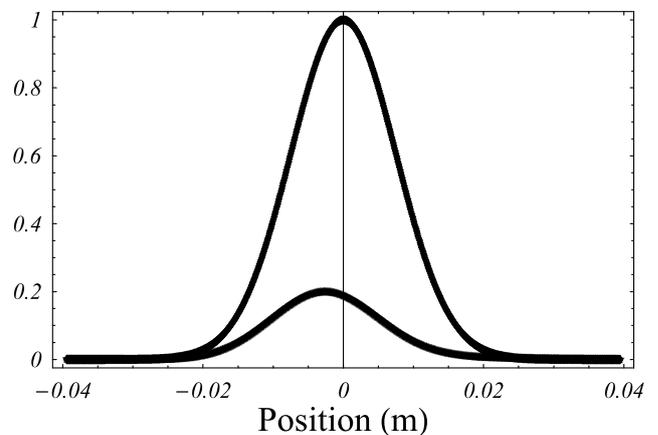


Fig. 10 Pulse profile in vacuum and after transmission within the transparency window induced by a pump of frequency $\hbar\omega_c = 3.168$ eV and $\beta_c = 10^{-6}$ eV². The peak lag of 2.6 mm corresponds to $v_g = 5.8 \cdot 10^{-5} c$ [9].

is 20% transmitted across the stop-band, while from its delay one can infer a group velocity $v_g = 5.8 \cdot 10^{-5} c$. This turns out to be in good agreement with the slope of the third dispersion branch induced by the exciton-biexciton coupling and which most contributes to the pulse propagating within the sample. The pulse spatial length in the medium is expected to scale approximately with the ratio v_g/c with respect to its length in vacuum, and the remarkable spatial compression typically experienced by a pulse entering a slow-light medium [4] may also be observed in CuCl.

6 EIT-induced photonic crystals

In recent years, photonic band gap structures have been much investigated from the scientific as well as from the technological viewpoint [11]. Photonic crystals are inhomogeneous materials exhibiting periodic variations in space in one or more directions of their refractive index on length scales comparable to optical wavelengths. The periodic variation in their optical response leads to Bragg scattering of light and electromagnetic wave propagation becomes best described in terms of a photonic band structure, akin to the electronic band structure in a crystalline solid [12]. In particular, when the light wave vector is close to the Brillouin zone boundary the propagation of light is strongly affected, leading to the existence of a range of frequencies, known as a photonic band gap, for which light does not propagate. The periodic spatial dependence of the optical response in familiar photonic band gap materials and the corresponding photonic band structure are determined once and for all by the way the photonic crystal is grown. Yet, it would be of great interest the possibility to tune the photonic confinement by optical means which can be efficiently done by using a modified standing wave EIT configuration amenable to be implemented in atomic samples as well as in nitrogen-vacancy color centers in diamond [13]. In this case, the periodic modulation of the optical response is directly created via all-optical nonlinearities, while the underlying material medium is homogeneous, and the photonic band structure is fully determined, rather than just modified, by one or more control beams.

An efficient mechanism to achieve very large modulations of the optical properties relies on quantum coherence and interference in multilevel systems, the simplest of which is a three-level atom in a lambda configuration commonly used to observe EIT with a monochromatic control beam (see fig. 1). When travelling waves are used as control beams, the dressed dielectric function experienced by a weak probe beam does not vary in space, yet when a standing wave configuration for the pump is employed, the probe optical

response is modulated periodically in space realizing a photonic band gap system. This amounts to the use in eq. (1) of a space dependent Rabi frequency of the form

$$(4) \quad \Omega_c^2(z)/\Omega_o^2 = (1 + R_m)^2 \cos^2(\pi z/a) + (1 - R_m)^2 \sin^2(\pi z/a)$$

corresponding to a configuration obtained retroreflecting a beam of Rabi frequency Ω_o on a mirror of reflectivity R_m , and its spatial periodicity is half the control beam wavelength $a = \lambda_c/2$. It is also of interest a configuration in which the forward and backward control beams are slightly misaligned by an angle θ , in which case the spatial periodicity given by $a = \lambda_c/(2 \cos(\theta/2))$ can be moderately tuned. For a perfect standing wave $R_m = 1$ and the pump intensity vanishes at the nodal positions around which the medium remains normally absorbing. Yet, it is sufficient to reduce the reflectivity of the mirror to make the pump intensity nowhere vanishing with nodes becoming quasi-nodes. The probe thus propagates in the coherently dressed system as in a one-dimensional photonic crystal and, because in a symmetric lambda configuration the probe frequency is close to the coupling frequency, the probe wave vector is close to the corresponding Brillouin zone boundary π/a where a photonic stop band is expected to open.

While cold alkali atoms are excellent candidates to implement such a scheme, for many potential applications solid-state solutions would be preferred owing to obvious advantages: high atomic densities, absence of atomic diffusion, compactness, simplicity of operation and scalability just to mention a few. Color centers in diamond, in particular, have attracted over the past few years a renewed interest for their potential as single-photon sources and quantum memories in solids. The N-V color centers are attractive as they behave a bit like a multilevel atom trapped in the diamond lattice. Composed of a substitutional nitrogen next to a carbon vacancy, these centers can have extremely long-lived spin coherence. In addition, they also have interesting optical properties as they exhibit a configuration with two ground state levels connected to a common excited state by optical transitions of moderate strength leading to a symmetric lambda-type level configuration amenable to the observation of EIT effects, and to the implementation of the above scheme for all-optical photonic crystals provided the inhomogeneous broadening of the color center levels is properly accounted for.

We now proceed to illustrate how pulse propagation in N-V diamond color center samples may be all-optically controlled via a modified standing wave EIT configuration. We adopt here realistic parameters as taken from recent experiments on coherent population trapping in N-V color centers, in particular, using as inhomogeneous linewidths

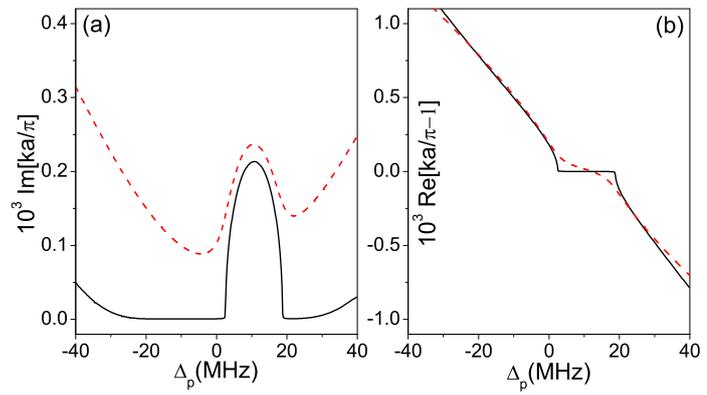


Fig. 11 N-V diamond photonic band-gap near the first Brillouin zone boundary induced by a standing-wave coupling field with $\Omega_o = 20.0$ GHz, $R_m = 0.62$, and $\theta = 38$ mrad. Solid and dashed curves refer, respectively, to an inhomogeneous Gaussian and Lorentzian broadening profile [13].

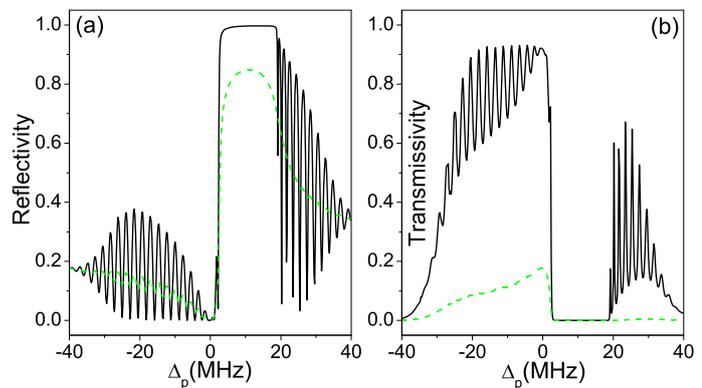


Fig. 12 Probe reflectivity and transmissivity spectra for a 2.0 mm long N-V diamond sample. The green-dashed curves correspond to a background absorption of $\text{Im } \epsilon_b = 0.0002$, which is an illustrative value much larger than the actual one. The standing-wave driving field parameters are the same as those in fig. 11 [13].

of the e-g and m-g transitions the values $\Gamma_{eg} = 375$ GHz and $\Gamma_{mg} = 2.5$ MHz, respectively. The inhomogeneous broadening can either be taken into account analytically using a Lorentzian lineshape or, more realistically, by numerically integrating over a Gaussian profile. Owing to the unphysically long tails of a Lorentzian broadening distribution, the corresponding EIT window turns out to be shallower than the one obtained by using a Gaussian inhomogeneous broadening profile. In the latter case, the low values of residual absorption in the EIT region are in turn responsible for the well-developed photonic band-gap structure shown in fig. 11. The gap is characterized as the frequency range (roughly from 0 to 20 MHz) in which $\text{Re}(k) = \pi/a$ and $\text{Im}(k) \neq 0$, while in the bands $\text{Im}(k) \approx 0$. Correspondingly, probes with frequencies inside the bandgap will experience almost perfect reflection (over 99 %) for a sample of finite length as shown in fig. 12(a). The width and position of the stop band can be controlled by changing the misalignment angle θ and the Rabi frequency Ω_o . The reflection and transmission spectra in fig.12 (a) and (b) display, in addition, rapid oscillations (fringes) near the bandgap due to the interference arising from the front and back surfaces of the sample. The presence of fringes, however, is tightly related to the background absorption. When this is included in the expression of the refractive index used to evaluate the spectra as in fig.12 (a) and (b) (dotted curves), it can in fact well smooth out the oscillations yet maintaining high values of the reflectivity. In fig. 13, we show the reflected and transmitted probe pulse intensities. When all frequency components of the probe are inside the bandgap (see fig. 13 (d)), the reflected pulse has essentially no loss or deformation. Conversely, the reflected pulse is increasingly suppressed and distorted as the probe frequency carrier gradually moves away from the center of the stop band, and, simultaneously, a stronger transmitted pulse is observed. Such a controllable stop-band

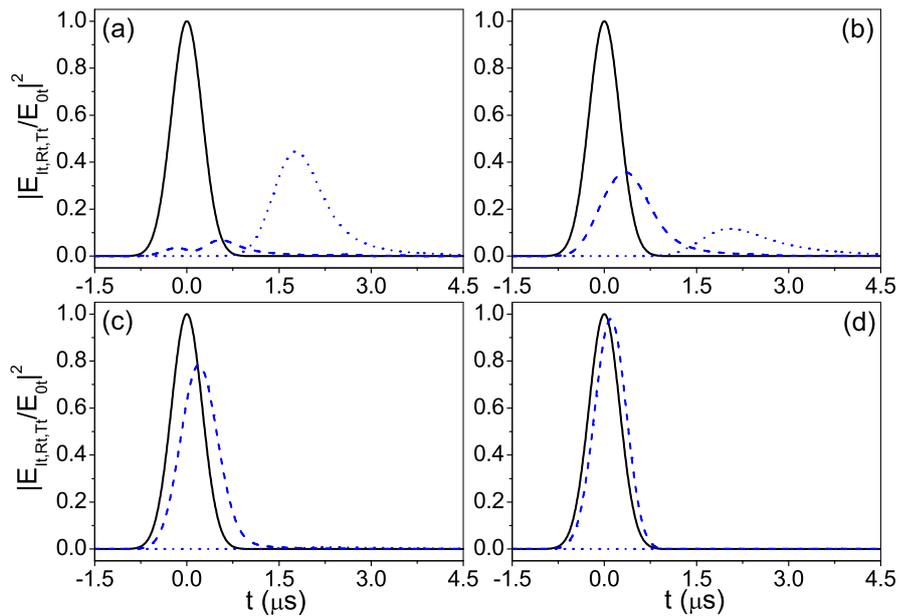


Fig. 13 Pulse dynamics of an incident (black-solid) probe impinging upon a 2.0 mm long N-V diamond sample. The parameters of the standing-wave coupling field again are the same as those in fig. 11 while the reflected (blue-dashed) and transmitted (blue-dotted) intensities are scaled to the incident probe pulse peak intensity. The frequency width of the incident pulse is 4.0 MHz and the detunings of its frequency carrier are, respectively, (a) 0.0 MHz; (b) 3.0 MHz; (c) 6.0 MHz; (d) 10.0 MHz [13].

mechanism may easily be exploited to devise an all-optical dynamically tunable beam-splitter for applications in light storage and quantum communication processing.

Acknowledgements

It is a pleasure to thank the many colleagues who have collaborated with us on EIT-related problems, and particularly I. Carusotto, S. Chesi, A. Mysyrowicz and J.-H. Wu.

This contribution is dedicated to the memory of Franco Bassani, an extraordinary man, teacher and leader who has recently passed away. He has been definitely the driving force in most of the ideas reviewed here, and he will be missed as a scientist and by all of us who looked upon him for inspiration and guidance over the years.

Financial support from the MIUR (PRIN 2006 - grant 021037 and Italy-Spain Azione Integrata - grant IT09L244H5) and the CRUI-British Council exchange grant is gratefully acknowledged.

References

- [1] M. Scully, M. Zubairy, "Quantum Optics" (Cambridge University Press, Cambridge) 1997.
- [2] S. E. Harris, "Electromagnetically induced transparency", *Phys. Today*, 50 no. 7 (1997) 36.
- [3] E. Arimondo, "Coherent population trapping in laser spectroscopy", in *Progress in Optics XXXV*, edited by E. Wolf (Elsevier, Amsterdam) 1996, p. 257.
- [4] M. Fleischhauer, A. Imamoglu, J. P. Marangos, "Electromagnetically induced transparency: Optics in coherent media", *Rev. Mod. Phys.*, 77 (2005) 633.
- [5] M. Artoni, G. C. La Rocca, F. Bassani, "Electromagnetic-induced transparency of Wannier-Mott excitons", *Europhys. Lett.*, 49 (2000) 445.
- [6] K. Yoshioka, M. Kuwata-Gonokami, "Dark excitons in Cu_2O crystals for two-photon coherence storage in semiconductors", *Phys. Rev. B*, 73 (2006) 081202.
- [7] M. Artoni, I. Carusotto, G. C. La Rocca, F. Bassani, "Fresnel light-drag in a coherently driven moving medium", *Phys. Rev. Lett.*, 86 (2001) 2549; I. Carusotto, M. Artoni, G. C. La Rocca, F. Bassani, "Transverse Fresnel-Fizeau drag effects in strongly dispersive media", *Phys. Rev. A* 68 (2003) 63819.
- [8] I. Carusotto, M. Artoni, G. C. La Rocca, F. Bassani, "Slow group velocity and Cherenkov radiation", *Phys. Rev. Lett.*, 87 (2001) 64801; M. Artoni, I. Carusotto, G. C. La Rocca, F. Bassani, "Vavilov-Cherenkov effect in a driven resonant medium", *Phys. Rev. E*, 67 (2003) 46609.
- [9] S. Chesi, M. Artoni, G. C. La Rocca, F. Bassani, A. Mysyrowicz, "Polaritonic stop-band transparency via exciton-biexciton coupling in CuCl ", *Phys. Rev. Lett.*, 91 (2003) 57402; F. Bassani, G. C. La Rocca, M. Artoni, "Electromagnetically induced transparency in bulk and microcavity semiconductors", *J. Lumin.*, 110 (2004) 174.
- [10] V. M. Agranovich, V. L. Ginzburg, "Crystal Optics with Spatial Dispersion and Excitons" (Springer, Berlin) 1984.
- [11] S. Johnson, J. Joannopoulos, R. Meade, J. Winn, "Photonic Crystals: The Road from Theory to Practice" (Kluwer, Norwell) 2002.
- [12] F. Bassani, G. Pastori Parravicini, "Electronic States and Optical Transitions in Solids" (Pergamon Press, Oxford) 1975.
- [13] M. Artoni, G. C. La Rocca, "All-optical tunable photonic band gaps", *Phys. Rev. Lett.*, 96 (2006) 073905; J.-H. Wu, G. C. La Rocca, M. Artoni, "Controlled light-pulse propagation in driven color centers in diamond", *Phys. Rev. B*, 77 (2008) 113106; J.-H. Wu, M. Artoni, and G. C. La Rocca, "Controlling the photonic band structure of optically driven cold atoms", *J. Opt. Soc. Am. B*, 25 (2008) 1840.

Giuseppe La Rocca

Giuseppe La Rocca after his studies at the University of Pisa and Scuola Normale Superiore, and later at Purdue University (Usa), has been Alexander von Humboldt research fellow at the Max-Planck-Institut für Festkörperforschung (Germany), research associate at Scuola Normale Superiore and associate professor at the University of Salerno. Since 2001, he is associate professor of solid-state physics at Scuola Normale Superiore. His main research interests are in condensed-matter theory, particularly the electronic states and optical transitions in solids. His recent activities concern the linear and nonlinear optics in organic semiconductor microcavities, the physics of hybrid organic-inorganic nanostructures, the spin-orbit coupling effects in semiconductors and the coherent control of light-matter interaction.

THE AGILE SPACE MISSION

M. TAVANI^{1,2,3}, G. BARBIELLINI^{4,5,3}, P. CARAVEO⁶, E. COSTA¹, G. DI COCCO⁷,
P. PICOZZA², P. GIOMMI⁸, on behalf of the AGILE Team

¹ INAF- IASF, Roma, Italy

² Dipartimento di Fisica, Università Tor Vergata, Roma, Italy

³ Consorzio Interuniversitario Fisica Spaziale (CIFS), Torino, Italy

⁴ Dipartimento di Fisica, Università di Trieste, Trieste, Italy

⁵ INFN, Trieste, Italy

⁶ INAF- IASF, Milano, Italy

⁷ INAF- IASF, Bologna, Italy

⁸ Agenzia Spaziale Italiana, Italy

AGILE is the most compact and lightest gamma-ray astrophysics mission ever operating in space, and combines for the first time silicon-based gamma-ray and X-ray images and cesium iodide calorimeter for simultaneous detection of cosmic sources and transients.

AGILE is an Italian Space Agency mission dedicated to the observation of the gamma-ray Universe. The AGILE very innovative and most compact instrumentation combines for the first time a gamma-ray imager (sensitive in the energy range 30 MeV–50 GeV) and a hard-X-ray imager (sensitive in the range 18–60 keV) together with a calorimeter (sensitive in the range 300 keV–100 MeV) and an anticoincidence system. AGILE was launched on April 23, 2007 from the Indian base of Sriharikota and was inserted in an equatorial orbit with a very low particle background. AGILE will provide crucial data for the study of Active Galactic Nuclei, Gamma-Ray Bursts, pulsars, unidentified Gamma-ray sources, Galactic compact objects, supernova remnants, TeV sources, and fundamental physics by microsecond timing. An optimal angular resolution (reaching 0.1–0.2 degrees in gamma-rays and 1–2 arcminutes in hard X-rays)

and very large fields of view (2.5 sr and 1 sr, respectively) are obtained by the use of silicon detectors integrated in a very compact instrument. During the first year of operations AGILE surveyed the gamma-ray sky and detected many galactic and extragalactic sources producing a wealth of interesting results. The main scientific results will be presented in this journal in a forthcoming paper.

1 Introduction

The space program AGILE (Astro-rivelatore Gamma a Immagini LEggero) is an Italian high-energy astrophysics mission supported by the Italian Space Agency (ASI) with scientific and programmatic participation of INAF, INFN, CNR, ENEA and several Italian universities [1–3]. The main industrial contractors include Carlo Gavazzi Space, Thales-Alenia-Space (formerly Laben), Rheinmetall Italia (formerly Oerlikon-

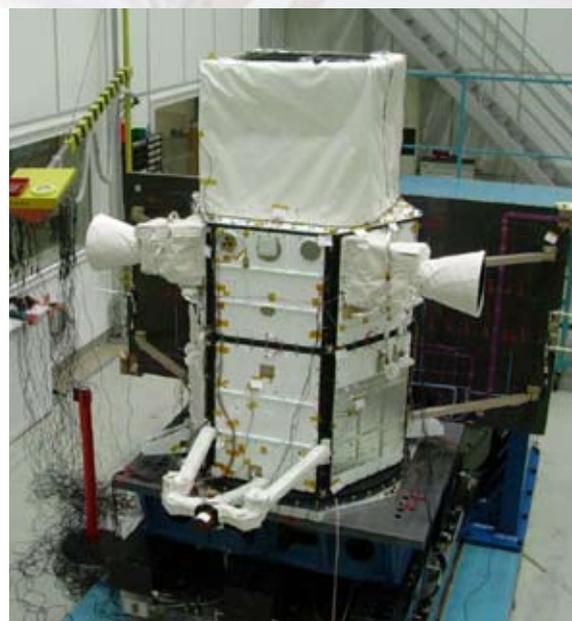


Fig. 1 The AGILE satellite in its final configuration during the qualification tests at IABG (Munich) in February 2007.

Contraves), Telespazio, Galileo Avionica, and Mipot.

The main scientific goal of the AGILE program is to provide a powerful and cost-effective mission with excellent imaging capability simultaneously in the 30 MeV–50 GeV and 18–60 keV energy ranges, a combination that is unprecedented in high-energy astrophysics space missions. The satellite configuration is that of a “Small Scientific Mission”, with a total satellite weight of 350 kg (see [fig. 1](#)). AGILE was successfully launched by the Indian PSLV-C8 rocket from the Sriharikota base on April 23, 2007. The launch and orbital insertion were nominal, and an equatorial orbit was obtained with the smallest inclination (2.5 degrees) ever achieved by a high-energy space mission (e.g., SAS-2 and Beppo-SAX had inclinations of ~4 degrees). The satellite commissioning phase was carried out during the period May-June, 2007. The scientific verification phase and the in-orbit calibration (based on long pointings at the Vela and Crab pulsars) were carried out during the period July-November 2007. The nominal scientific observation phase (AGILE Cycle-1, AO-1) started on December 1, 2007. AGILE has been the first gamma-ray mission successfully operating in space after the long temporal hiatus of almost ten years since the end of operations of the EGRET instrument on board of the NASA *Compton Gamma-Ray Observatory*. It operates now together with the FERMI (formerly GLAST) mission that was launched on June 11, 2008. The AGILE instrument design is very innovative and based on solid-state silicon detector technology and state-of-the-art electronics and readout systems developed in Italian laboratories [4, 5]. The instrument is unprecedentedly light (~100 kg) and the most compact ever operational for high-energy astrophysics (see [fig. 2](#)).

2 Previous gamma-ray astrophysics missions

Detection of photons of energy larger than a few tens of MeV is based on the pair conversion process, and a “tracker” is necessary to record the gamma-ray interaction and the electron/positron trajectories. The evolution of gamma-ray trackers in space follows the technological improvements of particle detectors and miniaturized/low-power electronics. The space gamma missions launched in the 70s such as SAS-2 and COS-B adopted a spark chamber as imaging device. These instruments were based on a consolidated technique developed by the community of particle physicists. A gas spark chamber sensitive in the energy range 30 MeV–30 GeV was also the tracking detector of the EGRET instrument on board of the Compton Gamma Ray Observatory (CGRO). EGRET has been effectively operating during the period 1991-1996 producing very important scientific results and a whole sky coverage. The spark chamber was a good choice for EGRET, but its use had several drawbacks including the need of gas consumables that increase the total weight of the spacecraft, and a long deadtime (~ 0.1 s) imposing severe trigger conditions and limiting the detection of short-timescale Gamma-Ray Bursts (GRBs). Particle physics of the 90s led to new directions. High-energy particle physics experiments requiring a large number of channels to detect events produced by high-intensity particle accelerators has driven the development of large-area silicon strip detectors. The solid-state detector progress and the development of highly integrated and low-power electronic circuits led to the construction of optimized silicon trackers with a very large number of channels and reasonable power consumption. The advantages of silicon detectors in a tracking configuration for space

experiments was soon realized. A gamma-ray telescope with solid-state detector elements is characterized by a low power budget per channel, very low deadtimes (reaching tens of microseconds), a very good reliability and a long lifetime owing to the absence of consumables. Furthermore, the silicon strip electric signals can be used for self-triggering the detector. These improvements are relevant for long-duration space missions. INFN played a crucial role in these developments and several silicon detectors were studied in the late 90s for space applications. The GILDA project [4-6] (an Italian-Russian mission proposed for the Resource-01 Russian satellite) was one of the most prominent of that time. Several years later, AGILE first and then FERMI met the challenge of using silicon detector instruments for space high-energy astrophysics during the first decade of 2000 and beyond.

3 The AGILE mission concept and scientific objectives

The AGILE program [1-3, 7] is based on the technological advances of the late 90s and on a new concept for high-energy astrophysics. The essential point, permeating the whole mission from its conception, is to provide a very effective gamma-ray space instrument with excellent detection and imaging capabilities both in the gamma-ray and hard-X-ray energy ranges. The very stringent constraints of an ASI Small Mission (satellite and instrument volume, weight, cost, and optimized ground segment) determined, from the very beginning of the mission development, a specific optimization strategy. The AGILE mission challenge has been achieving optimal gamma-ray/hard-X-ray detection capability (together with excellent timing resolution for all the energy bands covered by its detectors) with a very light (~ 100 kg) instrument.

The AGILE instrument has been designed and developed to obtain:

- excellent imaging capability in the energy range 100 MeV–50 GeV, substantially improving the EGRET angular resolution (by a factor of 2 in radius) and being comparable with that of FERMI;
- a very large field-of-view (FOV) for both the gamma-ray imager (2.5 sr, *i.e.*, ~ 5 times larger than that of EGRET) and the hard–X-ray imager (1 sr);
- an excellent timing capability, with overall photon absolute time tagging uncertainty of 2 μ s coupled with very small deadtimes for gamma-ray detections;
- a good sensitivity for pointlike gamma-ray and hard–X-ray sources and a quasi-continuous monitoring (14 times a day), reaching for a typical source in the FOV a daily exposure ($\sim 10^7$ cm² s) at 100 MeV, a value comparable to that of FERMI;
- a rapid response to gamma-ray transients and gamma-ray bursts, obtained by an *ad hoc* quicklook analysis program as well as by

coordinated ground-based and space observations;

- accurate localization (~ 2 – 3 arcmins) of GRBs and other transient events obtained by a combination of gamma-ray/hard–X-ray imagers (for typical hard–X-ray transient fluxes above ~ 1 Crab); the expected GRB detection rate for AGILE in the hard–X-ray band is ~ 1 – 2 per month;
- long-timescale continuous monitoring (~ 2 – 3 weeks) of gamma-ray and hard–X-ray sources;
- satellite repointing capability within ~ 1 day for sources of particular interest.

The capability of simultaneous hard–X-ray and gamma-ray observations of astrophysical sources represents a novel approach to the study of high-energy cosmic phenomena.

The AGILE scientific programme is devoted to the study of

1. Pulsars and Pulsar Wind Nebulae,
2. Galactic Compact Objects and Microquasars,
3. Transient gamma-ray sources in the galactic plane,

4. Supernova remnants and the origin of cosmic-ray acceleration,
5. Massive stars and colliding wind systems,
6. Active Galactic Nuclei (AGN), and in particular the blazar population,
7. Gamma-Ray Bursts,
8. Terrestrial Gamma-Ray Flashes,
9. Fundamental Physics, with emphasis on millisecond and sub-ms GRBs.

During the first year of operations, AGILE contributed in a substantial way to all these topics, with important detections that we shall summarize only briefly in this paper.

4 The instrument

The AGILE scientific payload is made of three detectors surrounded by an anticoincidence system, all combined into one integrated instrument with broad-band detection and imaging capabilities. A dedicated Data Handling system completes the instrument.

Figure 2 shows a schematic view of the instrument. For a more detailed description of the instrument and its detectors see ref. [3].

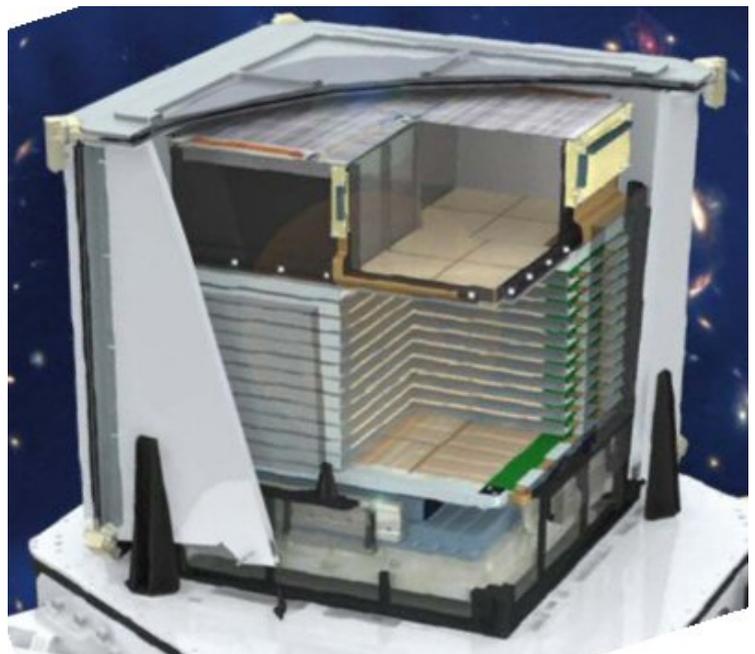


Fig. 2 A schematic view of the AGILE scientific instrument showing (from top to bottom) the hard–X-ray imager, the gamma-ray tracker, and calorimeter. The anticoincidence system is partially displayed, and no lateral electronic boards and harness are shown for simplicity. The AGILE instrument “core” is approximately a cube of about 60 cm size and of weight approximately equal to 100 kg.

The Gamma-Ray Imaging Detector (GRID) is sensitive in the energy range 30 MeV–50 GeV, and consists of a silicon-tungsten tracker, a cesium iodide calorimeter, and an anticoincidence system. The GRID trigger logic and data acquisition system (based on anticoincidence, tracker and mini-calorimeter information) allows for an efficient background discrimination and inclined photon acceptance. The GRID is designed to achieve an optimal angular resolution (source location accuracy $\sim 6'–12'$ for intense sources), a very large FOV (~ 2.5 sr), and an average exposure per day at 100 MeV comparable with that of FERMI for sources within 30–40 degrees from the main axis direction. The silicon tracker (ST) is made of a sequence of tungsten converters of 250 μm thickness and silicon detector tiles assembled in 40 x 40 cm^2 planes. The silicon strip pitch is 121 μm . The silicon-tungsten tracker is based on the gamma-ray conversion into electron/positron pairs. The photon energy and direction are reconstructed by adding the energy momentum vectors of the two charged particles. The neutral incoming photon is converted in a thin foil of high-Z material (tungsten) and the positions of the scattering charged particles are given by electric signals obtained by charge-sensitive channels made of silicon microstrips. A gamma-ray “telescope” is obtained by adding in sequence many converter-detector planes (see figs. 2 and fig. 3). The optimization of the AGILE tracker required a compromise among different requirements: 1) a small radiation length per single converter plane (to keep the electron/positron scattering as small as possible), 2) a radiation length for the complete tracker of order unity to provide a gamma-ray conversion probability near 0.7. These two requirements and a sustainable number of electronics channels (limited by power consumption) finally lead

to the AGILE optimized configuration of 12 total planes. The total readout channel number for the GRID tracker is 36 864. Both digital and analog information (charge deposited in the Si-microstrips) is read by dedicated front-end electronics. Special trigger logic algorithms implemented on-board (Level-1 and Level-2) are necessary for a substantial particle/albedo-photon background subtraction and a preliminary on-board reconstruction of the photon incidence angle. Both digital and analog information are crucial for this task. The positional resolution obtained by the AGILE ST is excellent, being below 40 μm for a large range of particle incidence angles. This spatial resolution is unprecedented in space gamma-ray astrophysics and is the basis for obtaining an optimal Point Spread Function (PSF) at gamma-ray energies. The AGILE tracker is the smallest and most compact gamma-ray imaging detector ever developed and operational in the energy range 30 MeV–50 GeV. The AGILE GRID was calibrated during an intensive campaign at the Beam Test Facility of the INFN Laboratories of Frascati during November 2005. A gamma-ray photon beam has been produced by Bremsstrahlung in the energy range 1–600 MeV and the GRID has been tested and calibrated for different geometries and energy selections [8,9]. **The hard-X-ray imager (super-AGILE, SA)** is also a unique feature of the AGILE instrument (for a complete description, see ref. [10]). This ultra-light imager (a few kg) is placed on top of the gamma-ray tracker and is sensitive in the 18–60 keV band. It has an optimal angular resolution (6 arcmin) and a good sensitivity over a ~ 1 sr field of view (10–20 mCrab on-axis for a 1-day integration). It is a coded-mask system made of a silicon detector plane and a thin tungsten mask positioned 14 cm above it (fig. 4). The detector plane

is organized in four independent square silicon detectors plus dedicated front-end electronics. The total number of SA readout channels is 6 144. The detection capability of SA includes: 1) photon-by-photon transmission and imaging of sources in the energy range 18–60 keV, with a large field of view (FOV ~ 1 sr); 2) a good sensitivity (10–15 mCrab between 18–60 keV for 50 ks integration, and ~ 1 Crab for a few seconds integration). SA is aimed at the hard-X-ray detection simultaneously with gamma-ray detection of high-energy sources with excellent timing capabilities (a few microseconds). The SA on-board acquisition logic provides essential GRB parameters such as time, position and preliminary flux estimates. **The mini-calorimeter (MCAL)** is the third AGILE detector [11]. It is an array of cesium iodide bars which can be operated as part of the GRID, but also work independently to detect GRBs and other transients in the 300 keV–100 MeV energy range with excellent timing capability. MCAL is composed of 30 CsI(Tl) scintillator bars, each one 15 x 23 x 375 mm^3 in size, arranged in two orthogonal layers, for a total thickness of 1.5 radiation lengths. The bar readout of the scintillation light is accomplished by two custom PIN photodiodes (PD) positioned at the bar ends. The readout circuits have been optimized for best noise performance, fast response, low power consumption and wide dynamic range. For each bar, the energy and position of an interacting gamma-ray or ionizing particle can be determined combining the signals of the two PDs. Figure 5 shows the integrated MCAL during laboratory testing. MCAL can operate: 1) in a GRID mode, following an ST trigger; 2) in a BURST mode, for which each bar behaves as an independent self-triggering gamma-ray detector in the energy range 300 keV–100 MeV. These data



Fig. 3 The AGILE silicon-tungsten tracker during the final assembly and test phase in the INFN laboratories of Trieste and MIPOT facility (June 2005).

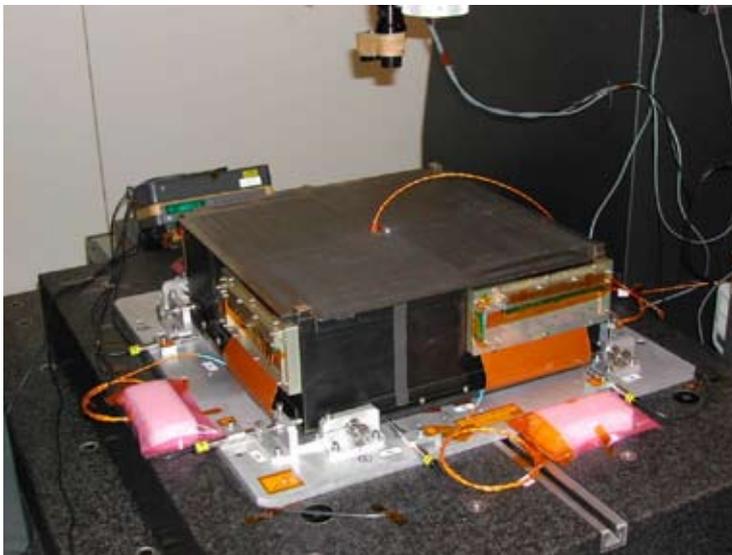


Fig. 4 The AGILE hard-X-ray imager (Super-AGILE) during the final assembly and test phase in the INAF-IASF Rome laboratories (June 2005). The tungsten mask is clearly visible on top of the detector.



Fig. 5 The Integrated MCAL during the assembly and test phase (carried out with the INAF-IASF Bologna supervision) at the Thales-Alenia-Space (former LABEN) laboratories (March 2005). The upper layer of the detection plane and two preamplifiers boards are clearly visible.

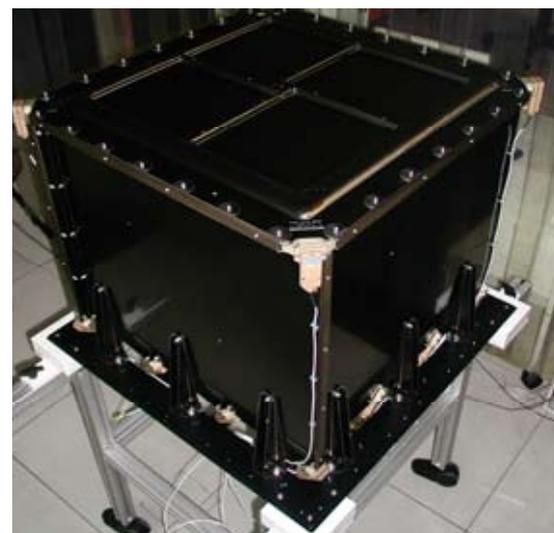


Fig. 6 The integrated anticoincidence system during the assembly and test phase at the INAF-IASF-Milan laboratories (March 2005).

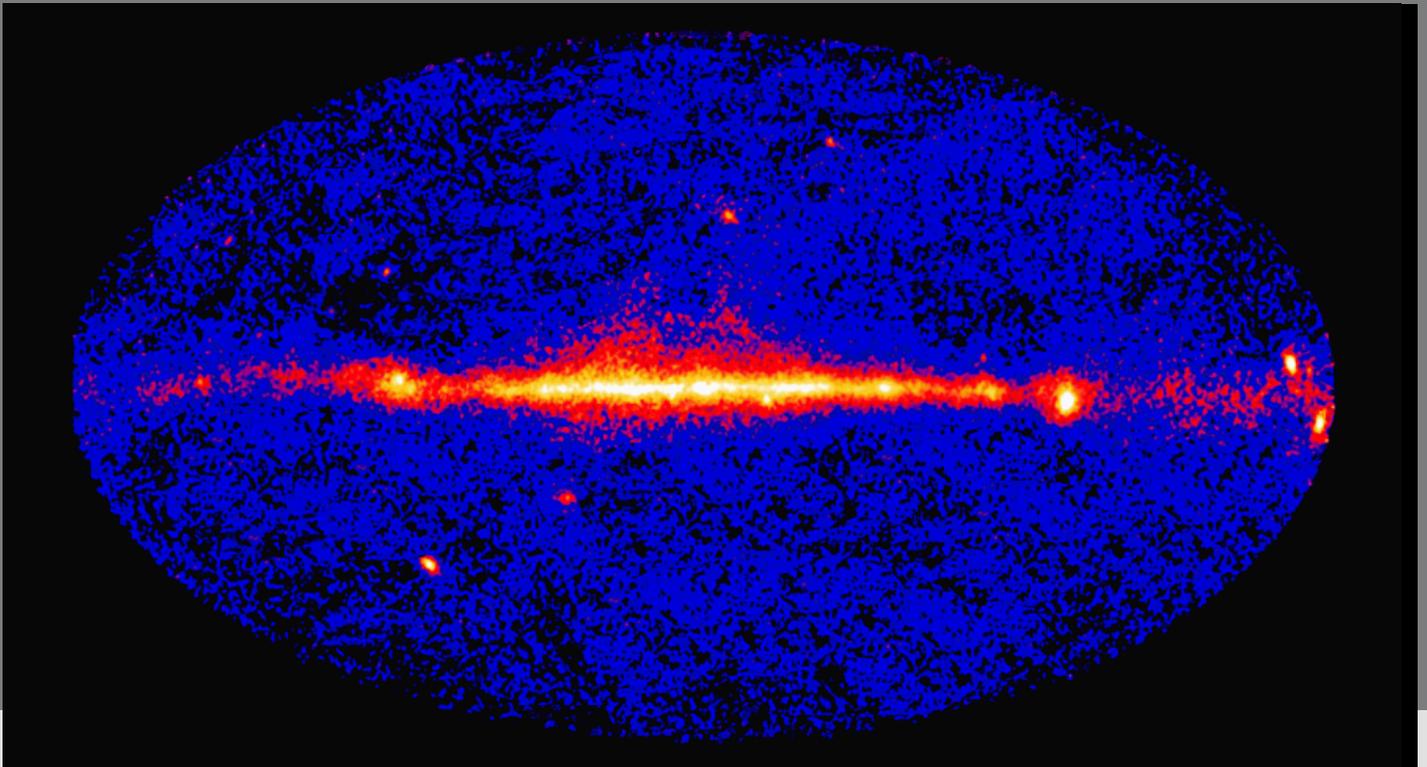


Fig. 7 The gamma-ray sky in galactic coordinates above 100 MeV imaged by AGILE during its first 9 months of operations (July 2007-March 2008).

are processed by a dedicated trigger logic to detect impulsive variations in count rates. During nominal operations, both operating modes are active at the same time. Operating in BURST mode, the main goal of MCAL is the detection of fast transients and GRBs at MeV energies with microsecond time resolution. MCAL is not an imaging system and it can provide only limited information on burst direction. However, it currently operates as an all-sky detector. For transients outside of the Super-AGILE or GRID fields of view, a localization from other satellites is usually required to perform the spectral analysis (since the detector's response is direction dependent).

The anticoincidence (AC) system surrounds the GRID and Super-AGILE and is aimed at a very efficient charged-particle background rejection [12]; it also allows a preliminary direction reconstruction for triggered photon events through a special data acquisition system. The AC system completely surrounds all AGILE detectors (Super-AGILE, Si-tracker and MCAL). Each lateral face is segmented in three plastic scintillator layers connected to photomultipliers placed at the bottom of the panels. The AC achieves an optimal charged-particle background rejection with a particle detection inefficiency lower than 10^{-4} . The AC detector,

shown in fig. 6, is divided into two main elements, named Top-Side AC and Lateral-Side AC, respectively. With the aim of providing a preliminary direction reconstruction for triggered photon events, each of the 4 sides forming the Lateral-Side AC is segmented and encompasses 3 independent detectors. The whole AC then consists of 13 independent charged-particles detectors. The flight-unit of the AC detector has been extensively calibrated at the CERN PS T9 beam line in August 2004, in the course of a dedicated run, by using particles (mainly pions) having a momentum set at 8 GeV/c.

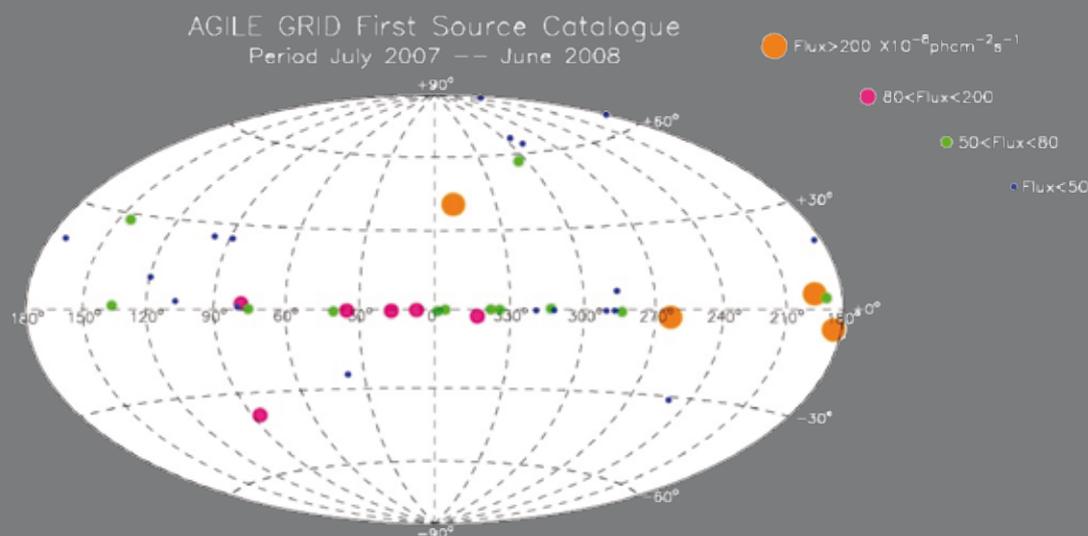


Fig. 8 First AGILE-GRID Catalog of high-confidence gamma-ray sources detected during the first 12 months of operations [15]. All data collected during the period July 2007 – June 2008 were used to optimize source positions and fluxes. The color code refers to the average gamma-ray intensity.

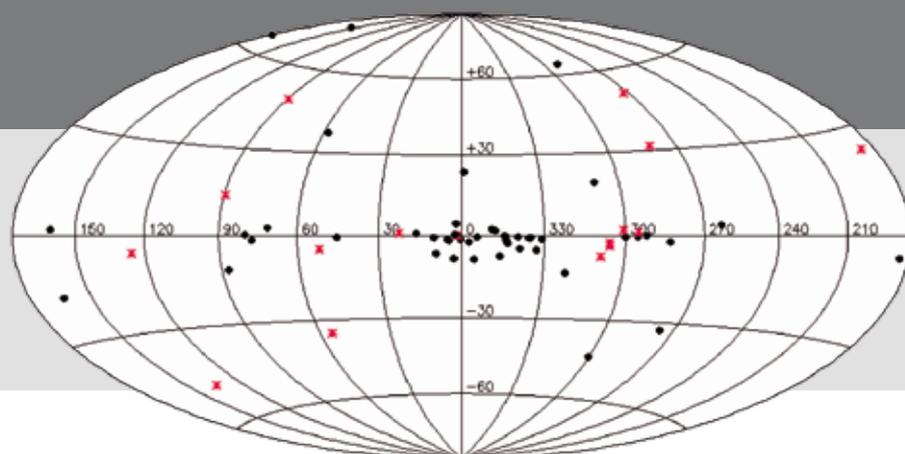


Fig. 9 Sources detected by the Super-AGILE hard-X-ray imager in the energy range 18–60 keV during the first year of operations (July 2007 – July 2008). The majority of these sources is variable on short timescales. GRBs and SGRs are marked in red.

5 The Data Handling system

A sophisticated Data Handling (DH) system based on a single DSP processor is required for the on-board management of the readable channels in the ST and Super-AGILE (~ 40 000) and for the multi-task instrument sub-systems [3, 13, 14]. The GRID trigger logic for the acquisition of gamma-ray photon data and background rejection is structured in two main levels: Level-1 and Level-2 trigger stages. The Level-1 trigger is fast (~ 5 μ s) and requires a signal in at least three out of four contiguous tracker planes, and a proper combination of fired Si-microstrip and AC signals. Level-2 data processing includes a GRID readout and pre-

processing, “cluster data acquisition” (analog and digital information). The GRID deadtime turns out to be ~ 200 μ s and is dominated by the tracker readout. The charged particle and albedo-photon background passing the Level-1 trigger level is measured in orbit to be ~ 100 Hz. The on-board Level-2 processing has the task of further reducing this background by a factor of 10. Off-line ground processing and filtering of GRID data reduce the particle and albedo-photon background rate above 100 MeV to the expected rate of ~ 0.02 events/s. A special set of memory buffers and burst search algorithms are implemented to maximize data acquisition for transient gamma-ray events (*e.g.*, GRBs) in the ST,

Super-AGILE and Mini-Calorimeter, respectively. The timing of all these detectors is excellent and can achieve sub-millisecond time tagging and burst trigger. Operating with a dynamic range of GRB triggers from sub-milliseconds to seconds is a crucial feature of the AGILE on-board DH system.

6 First year of operation

AGILE started scientific observations after the completion of the satellite in-orbit test and commissioning phase (early July 2007). AGILE carried out a Science Verification and Calibration phase during the months of July–November 2007. On December 1,

2007 the AGILE Cycle-1 started and continued until November 30, 2008. On December 1, 2008 the Cycle-2 started and is ongoing at the time of this writing, with the satellite performing nominally. Satellite data are transmitted first to the ASI ground station in Malindi (Kenya), and then transferred to the Satellite Operations Center in Fucino. The scientific data are transferred, preprocessed [16], and stored at the AGILE Data Center (ADC) located at the ASI Science Data Center in Frascati. The ADC is in charge of all scientific activities related to the analysis, archiving, distribution of AGILE data, and management of the AGILE Guest Observer Program.

During Cycle-1 AGILE carried out an ambitious program of pointings aimed at covering the whole sky at gamma-ray energies above 100 MeV. The unprecedentedly large FOV of the gamma-ray detector (2.5 sr) allowed to complete this program in only one year with very good exposure. Figure 7 shows the gamma-ray sky detected by AGILE during a significant part of Cycle-1 operations. The diffuse gamma-ray

emission originating by cosmic-ray interactions in gaseous clouds in the Galaxy dominates the emission. However, many pointlike sources can be detected both in the galactic plane as well as outside it. The combination of a large FOV and optimal PSF makes the gamma-ray maps significantly sharper than those produced by the previous generation of space detectors (e.g., EGRET). For long exposures AGILE can reach an angular resolution of 0.1 degrees at 100 MeV.

Figures 8 and 9 show the positions of high-confidence sources detected by AGILE during the first 12 months of operations in the gamma-ray and hard-X-ray ranges, respectively. The main results obtained during the first year of scientific operations will be reported in detail in a forthcoming paper.

References

- (1) M. Tavani, G. Barbiellini, P. Caraveo, S. Di Pippo, F. Longo, S. Mereghetti, A. Morselli, A. Pellizzoni, P. Picozza, S. Severoni, F. Tavecchio, S. Vercellone, *AGILE Phase A Report*, September 1998.

- (2) M. Tavani, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods*, 588 (2008) 52.
- (3) M. Tavani, *et al.*, *Astron. Astrophys.*, in press (arXiv:0807.4254 [astro-ph]) (2008).
- (4) G. Barbiellini *et al.*, *Nucl. Phys. B*, 43 (1995) 253.
- (5) G. Barbiellini, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods*, 354 (1995) 547.
- (6) A. Bakaldin, A. Morselli, P. Picozza, *et al.*, *Astropart. Phys.*, 8 (1997) 109.
- (7) M. Tavani, G. Barbiellini, M. Boezio, P. Caraveo, M. Casolino, M. P. De Pascale, S. Mereghetti, A. Morselli, A. Perrino, P. Picozza, P. Schiavon, R. Sparvoli, A. Vacchi, "AGILE: Rivelatore a immagini gamma leggero", Proposal presented to ASI in response to the ASI *Call for Ideas for Small Scientific Missions*, June 26, 1997 (1997).
- (8) F. Gianotti, *et al.*, *SPIE Proc.* (2008) 7011E.98B.
- (9) G. Pucella, *et al.*, in preparation (2009).
- (10) Feroci M., *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods A*, 581 (2007) 728.
- (11) C. Labanti, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods A*, 598 (2009) 470.
- (12) F. Perotti, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods A*, 556 (2006) 228.
- (13) A. Argan, *et al.*, *2004 IEEE NSS Conf. Proc.*, p. 371.
- (14) A. Argan, *et al.*, "The AGILE Data Handling In-flight Performance", *2008 IEEE NSS Conf. Proc.*, pp. 774-777.
- (15) C. Pittori, *et al.*, submitted to *Astron. Astrophys.*, arXiv:0902.2959 (2009).
- (16) M. Trifoglio *et al.*, *SPIE Proc.* (2008) 7011E.100T.

Marco Tavani

Marco Tavani obtained his Laurea in Physics at the University of Rome (1983) and the Ph.D. in theoretical astrophysics at Columbia University in New York (1989). His research activity continued at UC Berkeley, Princeton University and Columbia University during the years 1990-1997. He then moved back to Italy at the CNR-IASF Institute in Milan in 1997 and was appointed Research Director in 1999. He is teaching Space Physics at the University of Rome Tor Vergata. His research interests include the theory of high-energy relativistic sources, compact binaries and GRBs. He is the Principal Investigator of the ASI space mission AGILE dedicated to gamma-ray astrophysics.



FISICA DELLA CITTÀ

LA DINAMICA DEGLI INDIVIDUI NEI SISTEMI URBANI

ARMANDO BAZZANI, BRUNO GIORGINI*, SANDRO RAMBALDI

Laboratorio di Fisica della Città, Dipartimento di Fisica e CIG

Università di Bologna, Italia

INFN, Sezione di Bologna, Italia

"Triste quella vita che non vede, non ode, non sente se non che oggetti semplici" (G. Leopardi)

Nel presente articolo descriviamo brevemente cosa intendiamo per Fisica della Città, e in particolare presenteremo delle applicazioni ai problemi della mobilità urbana. Lo sviluppo di questo campo di ricerca è stata una naturale conseguenza di nuove tecnologie sperimentali per i sistemi sociali, che permettono la raccolta di dati a livello microscopico individuale. Nei modelli da noi elaborati abbiamo, oltre a una dinamica propriamente fisica, una dinamica decisionale e/o cognitiva con l'emergenza di fenomeni robusti di autorganizzazione. L'implementazione algoritmica permette la costruzione di universi urbani virtuali dove è possibile sperimentare un ampio ventaglio di situazioni, anche quando materialmente sarebbe assai difficile e/o costoso realizzarle. *In silico* possono essere rappresentate e studiate le traiettorie individuali e le configurazioni del sistema, con le eventuali transizioni di fase, mettendo in evidenza i parametri di governo e le soglie critiche. Mostriamo inoltre alcuni casi reali di dinamica di folla e pedonali studiati al Carnevale di Venezia, nonché le traiettorie automobilistiche desunte da una grande quantità di dati GPS diffusi su tutto il territorio nazionale. Lo studio delle dinamiche microscopiche attraverso metodi di ricostruzione da serie di dati temporali e i modelli della Meccanica Statistica, ha lo scopo di mettere in luce l'esistenza di leggi macroscopiche generali e la loro connessione con la complessità intrinseca del sistema.

www.physicsofthecitylab.unibo.it

www.fisicadellacitta.it

www.physycom.unibo.it

1 Introduzione

La città è per eccellenza il luogo dove nascono e si sviluppano la civiltà umana e la società, fin dagli albori dei tempi storici. E oggi oltre il 50% dell'umanità abita in città, la cui crescita in numero e taglia fu nel secolo scorso, il '900, straordinaria. Sulla città e le civiltà urbane si sono esercitati sociologi, filosofi, preti, politici, ingegneri, mercanti, strateghi, urbanisti, architetti, scrittori, poeti e quasi ogni scienza traendone teorie, sperimentazioni, costruzioni, estetiche, concezioni del mondo, teologie. Più rara è la presenza dei fisici e del loro sapere.

* brunogiorgini@bo.infn.it

Non fu sempre così. Per Aristotele la *physis* – la natura – del cosmo e della città erano la stessa, si potevano indagare con gli stessi strumenti concettuali e sperimentali: in particolare la geometria. Ma poi l'armonia – il cosmos – si rompe. Da una parte le scienze dell'uomo fondate sul libero arbitrio (il *free will* inglese – la libera volontà – è forse più appropriato), quindi quasi per definizione difficilmente matematizzabili e non soggette in modo stringente al paradigma causa-effetto. Dall'altra le scienze che alzano gli occhi al cielo scoprendo l'eterno ripetersi delle orbite celesti ben determinate e prevedibili, con le simmetrie che sottendono l'ordine dei corpi celesti. Si creano così la filosofia del soggetto, se si vuole il *Γνωθι Σεαυτον*, il conosci te stesso socratico, e la filosofia

naturale, essenzialmente la fisica. Una fisica profondamente deterministica, seppure Lucrezio lascia spazio al caso tramite il *clinamen*. Ma lui era un poeta e ogni licenza gli era permessa. Tale situazione cambia quando lo sviluppo tecnologico permette di acquisire importanti moli di dati per i sistemi biologici e i sistemi sociali, così che è possibile un approccio fisico basato sulla dualità teoria-esperimento. In questo modo nasce intorno agli anni '50 l'interesse delle discipline scientifiche per il traffico [1], proponendo una teoria del flusso autoveicolare. Seguono altri contributi significativi come l'approccio cinetico al traffico di Prigogine e Herman [2] e il modello microscopico ad automi cellulare di Nagel e Schreckenberg [3]. Tra i ricercatori vi era la convinzione che la città potesse essere trattata come un sistema termodinamico non troppo lontano dall'equilibrio, le cui leggi macroscopiche siano deducibili facendo la media sulle dinamiche microscopiche. Da questo punto di vista la mobilità urbana diventa la realizzazione di uno stato stazionario: da una parte la richiesta dei cittadini di muoversi secondo uno schema origine-destinazione (OD) che cresceva con l'espandersi della città, dall'altra le infrastrutture di trasporto sempre più efficienti. Tale schematizzazione veniva però contestata sia dagli urbanisti [4], che dalla nascente Scienza della Complessità, che proponeva lo sviluppo di approcci olistici allo studio dei sistemi aventi a che fare con le dimensioni della vita e dei viventi. Infine le osservazioni empiriche mettevano in luce l'inadeguatezza dei modelli [5] globali a governare le situazioni critiche di non equilibrio, a tener conto degli effetti cognitivi, a prevedere la fragilità delle reti di trasporto, in poche parole, a riprodurre la natura complessa della mobilità urbana. Sotto questo punto di vista la Fisica dei Sistemi Complessi permette di buttare un occhio e forse ben più di un occhio a quel fenomeno straordinario che è la città [6].

2 La Fisica della Città

Proviamo a pensare per un momento la città come un insieme molto intrecciato di *flusso/i* (di individui, di energia, di intelligenze, di conoscenze, di immaginario, di tecnologie, di violenze, di lingue, di memorie, di produzioni, ecc...), di *informazione/i* (da quelle immagazzinate nei calcolatori a quelle dei nostri vicini di casa, da quelle delle pagine gialle a quelle di una mappa, da quelle di una guida turistica a quelle degli archivi storici, da quelle dell'anagrafe a quelle di un polo tecnologico...) e di *forma/e* (la forma dei giardini e quella della cattedrale, le strade e i musei, i graffiti metropolitani e il tracciato della metropolitana, quella di un quartiere di periferia e quella del centro storico...). Se si volesse tenere di conto, magari mettendola in equazione, tutta questa complessità intrecciata, ci si troverebbe ben presto a mal partito concludendo che l'unico modello della città è la

città stessa. Oppure ci si dovrebbe limitare a un'espressione simbolica che leghi in un qualche modo flussi, informazione e forma senza alcun contenuto e significato fisico specifico. In tal caso è possibile una Fisica della Città? La radice per una possibile risposta si trova, crediamo, in una proposizione del Tractatus di Wittgenstein: "Anche se il mondo è infinitamente complesso, così che ogni fatto consta di infiniti stati di cose ed ogni stato di cose è composto d'infiniti oggetti, anche allora ci devono essere oggetti e stati di cose". Pure in un mondo infinitamente complesso possiamo separare a livello logico gli oggetti e gli stati di cose, e il concetto di stato è il mattone primario con cui costruiamo modelli, a cominciare dai sistemi dinamici, quindi estendibili ai sistemi complessi. A nostro parere in questa filosofia di pensiero sta il fondamento della Fisica della Città, per cui la città stessa diventa un laboratorio per la scoperta di leggi universali della complessità. Con questo intendiamo che la Fisica della Città si occupa di stabilire protocolli sperimentali, analizzare ed interpretare i dati, costruire modelli e derivare relazioni dinamiche tra grandezze macroscopiche con cui studiare la criticità del sistema. Si apre dunque un nuovo campo di ricerca nell'ambito della Fisica dei Sistemi Complessi con potenzialità di sviluppo sia teoriche che sperimentali. La Fisica della Città dovrà inoltre interagire con altre scienze che studiano i sistemi urbani, dall'economia alla sociologia, dalla filosofia alle scienze cognitive, dall'urbanistica all'ingegneria, dall'architettura alla psicologia del comportamento, senza dimenticare la geografia, e quant'altro. Si tratta di una interazione che tende a integrare diversi tipi di conoscenza per trovare una unità del sapere scientifico. In particolare, la Fisica della Città richiede un superamento del tradizionale concetto di modello fisico, ampliandone il significato in modo da comprendere anche i modelli utilizzati in altre discipline quali la sociologia e la psicologia. Cominciando con una domanda, formulata da Ludovico Geymonat: "Oggi i problemi dei fondamenti delle scienze empiriche coincidono con il problema del significato dei modelli. Che cosa è un modello?". Nella usuale accezione fisica il modello è stato a lungo pensato come un *medium*, una tappa intermedia, tra la natura (il fenomeno o un insieme di fenomeni) osservata e/o riprodotta in laboratorio, e la teoria, principi (classici i tre principi di Newton) e equazioni generali, che permette di descrivere, spiegare, predire il comportamento della natura stessa o di sue porzioni, il moto dei pianeti per esempio. Dove ogni ragionamento e spiegazione sono sottesi dal principio di causa e effetto, vero e proprio architrave di pensiero scientifico deterministico. Il modello non ha in questo ambito una autonomia gnoseologica e epistemologica. Aiuta l'intuizione e la rappresentazione mentale (si pensi all'elettrone visto come un'onda o come un corpuscolo, a seconda della situazione sperimentale), oppure è una specificazione particolare della

teoria, come i modelli d'universo che sorgono dalle differenti soluzioni delle equazioni di Einstein [7]. Però non è sempre così. Quando Boltzmann introduce il modello di gas perfetto con l'ipotesi del caos molecolare, compie un'operazione irriducibile al semplice rapporto tra teoria e modello che illustravamo prima. Il fatto è che egli si scontra col *caso* e con sistemi dove il caso è la regola non l'eccezione. Per cui il principio di causalità non appare più così forte, e viene moderato in senso *statistico*, o per dirla con J. C. Maxwell: **"la vera logica dell'universo è il calcolo delle probabilità"**. Boltzmann è cosciente del nuovo statuto epistemologico che assume il modello, così come lo è Poincaré nello studio dei sistemi dinamici non lineari, dove vige il paradosso di equazioni deterministe che producono spesso traiettorie imprevedibili, come nei sistemi aleatori. Ovvero per i sistemi dinamici, quelli aleatori, e in ultima analisi i sistemi complessi i modelli sono costituenti la teoria. Allora possiamo definire una teoria scientifica come una popolazione di modelli corredata da varie ipotesi che collegano quei modelli con i sistemi del mondo reale) [8].

A punto è necessario notare che lo sviluppo di nuovi modelli, soprattutto nel campo della scienza della complessità, è strettamente connesso con l'enorme sviluppo delle capacità di simulazione dei moderni computer, così che in molti casi il modello esiste in quanto computabile su un calcolatore. Solo in questo modo è possibile simulare configurazioni, evoluzioni, stati critici, insomma problemi e soluzioni possibili in uno spazio virtuale dei parametri e delle variabili molto più ampio e meno sottoposta a vincoli, rispetto allo spazio reale. In questo contesto la simulazione riacquista il significato che gli attribuiscono recenti studi di neuroscienze come un modo di apprendimento e conoscenza intrinseco al nostro sistema biologico cognitivo. I modelli non saranno mai isomorfi alla realtà, ma potranno simularne alcuni aspetti e caratteristiche, considerate dall'osservatore salienti.

Una semplice osservazione ci aiuta nel processo di riduzione: qualunque sia la varietà e complessità di flussi, forme e informazioni, un sistema urbano è, in quanto è abitato. La città non è neppure definibile senza i cittadini, componenti elementari comuni a qualunque sistema urbano. Quindi la nostra Fisica della Città sarà essenzialmente una fisica della città abitata. Il che significa, dato il gran numero di componenti elementari – i cittadini –, una fisica statistica del non equilibrio (la città è un sistema aperto). Inoltre poiché i componenti elementari si muovono nello spaziotempo urbano, sarà una fisica dei sistemi dinamici. Essendo gli individui del sistema dotati di libero arbitrio, dovrà essere una fisica probabilistica (fu Pascal il primo a modellare il libero arbitrio tramite il concetto e la funzione di probabilità, fino a scommettere sull'esistenza di Dio). Per finire, poiché i componenti elementari sono dotati di memoria, capaci di assumere dall'ambiente informazioni e di processarle in

funzione di intenzioni, scelte e decisioni, la fisica della città dovrà essere una fisica intenzionale, cognitiva e decisionale. Modellare una città richiede l'integrazione di dinamiche a varie scale spazio-temporali connesse tra loro tramite interazioni sia di tipo *bottom-up* che *top-down*; queste ultime peculiari per i sistemi auto-organizzati.

La dinamica macroscopica dello spaziotempo urbano può essere caratterizzata dal concetto di *chronotopo*, agente primigenio delle attività temporali urbane, intendendo per agente primigenio quello che introduce correlazioni che non ci si potrebbe aspettare senza di lui [9].

La dinamica complessa nasce proprio dall'interazione tra il tempo individuale e quello *chronotopico*. Nel linguaggio dell'urbanistica, si intende *chronotopo* un'area dove si svolgono attività calendarizzate che attraggono i cittadini, per esempio l'università che attrae studenti otto ore al giorno, l'ospedale che attrae malati e medici a ciclo continuo, una via di *shopping* che attrae i consumatori nelle ore di apertura dei negozi eccetera. Va da sé che le due definizioni nella città virtuale coincidono. Questa metrica *chronotopica* struttura flussi dinamici mesoscopici, per esempio gli studenti che si recano in università, i visitatori a un museo, gli uomini d'affari a una fiera, i melomani a un concerto. Avremo quindi una fisica *chronotopica*. E il tempo sociale urbano sarà in qualche modo una media pesata di questi vari tempi *chronotopici* in interazione con l'agenda temporale di ciascun componente elementare [10].

3 La mobilità urbana e l'asino di Le Corbusier

È scontato dire che la mobilità condiziona lo sviluppo urbano e viceversa. Più intrigante e ricca appare la seguente affermazione di Le Corbusier: **"L'uomo avanza diritto per la propria strada perché ha una meta; sa dove va, ha deciso di raggiungere un determinato luogo e vi si incammina per la via più diretta. L'asino procede a zigzag per evitare le pietre più grosse, per scansare i tratti più ripidi, per cercare l'ombra (...) è l'asino che ha tracciato le piante di tutte le città d'Europa"**. Il paradosso di Le Corbusier si dispiega pienamente nelle metropoli di terza generazione [11], dove la mobilità dei cittadini assume in misura sempre maggiore configurazioni zigzaganti e/o sistematiche. Quasi fossimo tutti asini.

Nella città occidentale otto-novecentesca, l'organizzazione tayloristica del lavoro industriale coi suoi orari rigidi di entrata e uscita (le famose otto ore e più di fabbrica) metteva a sistema ben controllabile, prevedibile e quasi deterministico la mobilità dei cittadini lavoratori. In termini tecnici la mobilità O-D, dove l'origine O è abbastanza ben definita nello spazio e nel tempo, e altrettanto la destinazione D, a cui si giunge attraverso una o più strade possibili (archi). Quando la grande fabbrica capitalista si svuota e decade

anche socialmente, l'organizzazione del lavoro si trasforma, diventando più complessa, spazialmente diffusa ben oltre i tradizionali quartieri industriali, si può dire in tutta la città, e a orario flessibile. Nasce così un tempo che invece di essere come prima unico, lineare e partito in segmenti di otto ore uguali per tutti (il tempo sociale forgiato dalle officine Ford), diventa l'impasto di mille e mille tempi individuali. Questa dislocazione spaziotemporale e virtuale del lavoro propria delle metropoli attuali, induce una mobilità poco prevedibile e asistemica che prende il largo investendo strati sempre più ampi di popolazione. Qui insorge l'asino di Le Corbusier, che non va diritto ma zigzaga secondo i suoi bisogni, desideri, volontà, obiettivi, e nasce il problema se e come questa mobilità zigzagante in linea di principio imprevedibile, possa essere modellata (la fisica ha modellato sistemi zigzaganti da 100 anni). Se si possa descriverla mediante equazioni e/o algoritmi, configurandola in una città virtuale che ci permetta di vederla dispiegarsi per provare a comprenderla, e magari prevederne alcune caratteristiche dinamiche.

In questo nuovo contesto lo studio della mobilità urbana consente di affrontare due fondamentali problemi della complessità:

1. La congettura della criticità dell'auto-organizzazione secondo cui i sistemi complessi si auto-organizzano in modo da rimanere vicino a stati critici, creando un equilibrio tra la tendenza ad evolvere sotto la pressione dei cambiamenti esterni, e la necessità di mantenere uno stato ordinato per il funzionamento del sistema stesso.
2. Il problema dell'informazione nei sistemi statistici fisici, informazione non definita secondo Shannon, ma come una forma di interazione per cui un sistema (ricevente) cambia il proprio stato dinamico in funzione di un altro sistema (portante), senza che venga posta in essere una relazione deterministica di causa-effetto; i due sistemi ricevente e portante possono inoltre avere natura completamente diversa.

Nel prossimo paragrafo discuteremo alcuni modelli che sono stati recentemente proposti per affrontare il problema della mobilità urbana non basati su un principio di minima azione o se si vuole del percorso minimo, in contrasto con la premessa di Le Corbusier secondo cui gli esseri umani si muoverebbero secondo linee rette. Entrano in gioco molte componenti *evolutive* e *adattive*, oltre al *libero arbitrio*, che rendono il cammino spesso molto più simile a un *random walk*, che a una linea retta.

4 I modelli

Partendo dal concetto di domanda individuale di mobilità come propensione [12] del singolo componente elementare a muoversi su una topologia spaziotemporale, abbiamo sviluppato una serie di modelli al fine di analizzare vari aspetti

della mobilità umana.

Per di più la mobilità si esercita con *diversi mezzi*, i piedi, la bicicletta o moto, l'automobile, il mezzo di trasporto pubblico. Ciascun cittadino mescolerà questi diversi mezzi nel corso dei suoi spostamenti, per cui dallo stato di pedone potrà transire a quello di automobilista e/o a quello di utente di mezzo pubblico eccetera.

Nel seguito ci riferiamo a due tipologie di modello: i modelli *chronotopici* e i modelli *ad automi*. Nel primo caso si tratta di modelli *mesocopici* in cui viene simulata la dinamica degli individui a scala urbana, dal quartiere ad un'intera città, tenendo conto dell'interazione tra la dinamica dei *chronotopi* e la mobilità di alcune categorie di cittadini (p. es. lavoratori, *city user*, turisti,...). La *microdinamica* non viene risolta rappresentando lo spazio mediante la sovrapposizione di diversi reticoli discreti di punti, ciascuno associato ad una diversa tipologia di mobilità e comunicanti attraverso punti particolari detti "stazioni". Si introduce quindi un'interazione *chronotopica* mediante un campo di "forze sociali" [13] che agisce sugli individui determinandone la domanda di mobilità e quindi un'agenda giornaliera. In questo modo si riescono a studiare:

1. la dinamica del componente elementare nel caso sia del tutto *libera* (senza meta), e quando sia *finalizzata* dalla necessità/scelta di recarsi in uno specifico *chronotopo*;
2. la dinamica degli aggregati di componenti elementari che hanno propensione verso lo stesso *chronotopo*, cioè la dinamica *mesoscopica*;
3. la dinamica del componente elementare quando *sceglie/decide* tra diversi mezzi e/o diversi percorsi e/o diversi *chronotopi* sulla base delle sue *intenzioni* (la sua agenda) e dell'ambiente circostante, con anche una capacità *adattiva* di fronte agli imprevisti;
4. da ultimo le *interazioni* tra i diversi sistemi di mobilità, pedonale, automobilistico, di trasporto pubblico.

Nel caso dei modelli *ad automi*, un concetto introdotto da Van Neumann [14] costruiamo un gas di particelle intelligenti con proprietà fisiche e cognitive (in grado di processare informazione)[15]. In questo modo costruiamo una *microdinamica* che è il risultato di interazioni fisiche e comportamenti cognitivi in grado di simulare la mobilità umana, in modo prioritario quella di tipo pedonale. Più precisamente questo modello mette in evidenza i fenomeni di auto-organizzazione come equilibrio critico tra dinamica fisica e cognitiva.

La dualità tra queste dinamiche strettamente correlate è una possibile chiave di volta per la complessità. Infatti per tempi brevi la dinamica fisica è fortemente dominata da effetti stocastici causati dalle interazione tra le particelle, mentre la dinamica cognitiva è deterministica in quanto risulta dall'applicazione di strategie di comportamento sociale ben consolidate (teoria delle forze sociali). Per tempi

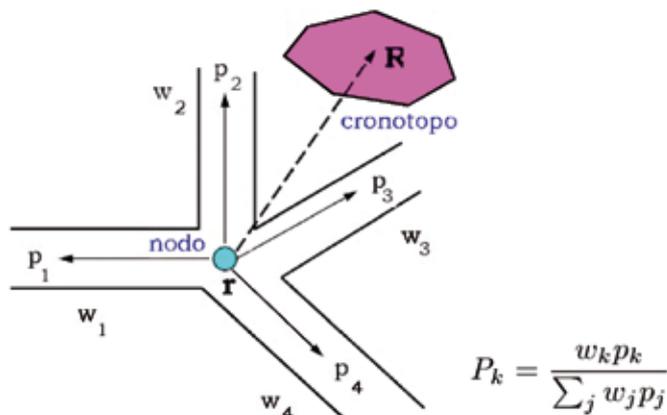
lunga la dinamica fisica è modellabile in modo deterministico in quanto realizza la mobilità di flussi su vasta scala, mentre la dinamica cognitiva risulta stocastica poiché è il risultato di decisioni individuali (*free will*) con un sistema di *retroazione* e di *memoria*, che permettono *evoluzione* e *adattamento*. Specificiamo ora come la decisione avviene nel modello cronotopico, basandoci sul concetto di probabilità soggettiva di Bayes-de Finetti [16]. Con questa probabilità in tasca il nostro individuo si trova nel mezzo di un quadrivio, *attirato* da un *chronotopo*, e deve scegliere quale strada imboccare, strada che non è univocamente determinata dalla forza che il *chronotopo* esercita. Ebbene, la probabilità che si avvii lungo una strada sarà data da una combinazione tra le probabilità definite per ogni direzione in base alle sue soggettive esigenze di mobilità (il percorso minimo nel tempo per esempio è la più facile ma certamente non l'unica, e spesso non prevale) e un coefficiente di qualità assegnato alle strade, nel caso specifico *l'accessibilità, la sicurezza, l'estetica* (fig. 1). Così si realizza una dinamica probabilistica su *network*.

Tale modello è stato applicato alla simulazione della mobilità pedonale e di trasporto pubblico nel centro storico di Rimini, ottenendo un buon accordo con le osservazioni empiriche [17].

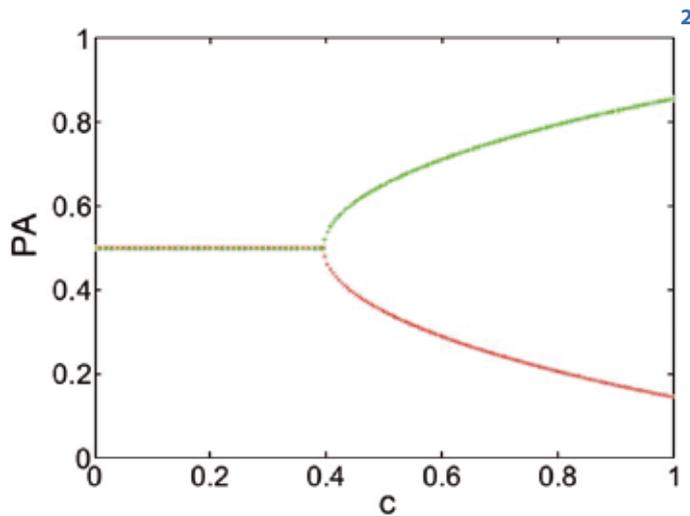
Nel modello di gas di automi si introduce una dinamica fisica ispirata al moto di un fluido granulare con collisioni anelastiche, un meccanismo di visione che consente di sviluppare una strategia per evitare gli urti e infine una capacità di decisione e apprendimento individuale. La messa in equazione di questo discorso si legge:

$$dX = \frac{\partial V}{\partial X}(X; I) dt + \sqrt{2T} dw_t,$$

dove X rappresenta lo stato cognitivo della particella al tempo t , $V(X; I)$ è un potenziale di utilità che dipende dall'informazione I nel senso definito in precedenza, T è una temperatura sociale che misura l'attitudine a cambiare decisione, infine dw_t rappresenta il differenziale del rumore di Wiener. Con questo meccanismo abbiamo studiato la dinamica di folla in particolare al crescere della densità, trovando che in presenza di strategie diverse quali quella cooperativa e quella egoista (*selfish*), si ottiene una soglia oltre la quale la dinamica diventa caotica innescando il panico [18]. In fig. 2 si illustra schematicamente un meccanismo di auto-organizzazione cognitiva basato su



1



2

Fig. 1 Il pedone decide quale strada prendere, sulla base della direzione e del verso della forza cronotopica, delle probabilità p_k associate a ciascuna strada possibile e ai coefficienti di qualità w_j propri di ciascuna via, ottenendo una probabilità di scelta P_k composta secondo la formula.

Fig. 2 Biforcazione per un gas di automi cooperativi con un sistema binario di decisione. Il sistema si auto-organizza secondo un meccanismo probabilistico quando il parametro di cooperazione C raggiunge una soglia critica.



3



4

Fig. 3 Ricostruzione della densità pedonale durante il Carnevale di Venezia 2007 nell'area di San Marco mediante segnali GPS.

Fig. 4 Ricostruzione del campo di velocità nella rete viaria bolognese durante il mese di giugno 2006. I diversi colori corrispondono a diverse velocità medie di percorrenza (rosso tra 0 e 30 km/h, giallo tra 30 e 60 km/h, verde tra 60 e 90 km/h e blu sopra i 90 km/h).

Fig. 5 Distribuzione della lunghezza delle traiettorie per un mese di dati: in rosso a Roma, in verde a Bologna e in blu a Senigallia. Le traiettorie corte (ordine 500 m) sono affette da patologie di misura. Al di là di questo le curve sperimentali hanno la stessa pendenza nelle

tre città (molto diverse tra loro, suggerendo l'esistenza di una attitudine comune degli individui indipendentemente dalla topologia e dalla densità di traffico).

un biforcazione per un valore critico del parametro di cooperazione.

5 Osservazioni esperimenti misure e dati

Uno dei problemi più difficili per lo studio dell'evoluzione di sistemi complessi è quello di reperire serie temporali di dati abbastanza lunghe e ripetibili, essendo l'esperimento in genere non riproducibile. Parafrasando Tolstoj possiamo dire che: "Tutti i sistemi semplici si assomigliano, ma ogni sistema complesso è complesso a modo suo" [19]. Inoltre dall'osservazione dei fenomeni macroscopici complessi si vorrebbe derivare una conoscenza della dinamica microscopica, il che costituisce un autentico rompicapo (i matematici lo chiamano problema malposto, ma i fisici non possono esimersi dall'osservazione della natura, e dalle domande che da questa nascono). Nel corso del nostro lavoro abbiamo analizzato diverse situazioni empiriche:

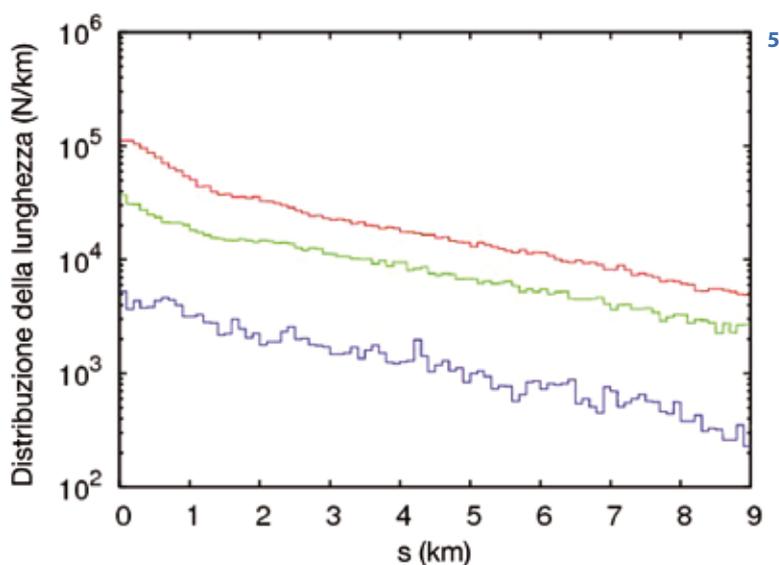
1. ricostruzione di traiettorie pedonali tramite osservatori muniti di GPS,
2. studio di dinamica di folla tramite dati acquisiti da video riprese,
3. ricostruzione di traiettorie autoveicolari da dati GPS.

Senza entrare nei particolari, mostriamo in [fig. 3](#) i risultati ottenuti per il carnevale di Venezia che evidenziano la densità nell'area di San Marco [20].

Per quanto riguarda la mobilità automobilistica, per la prima volta si possono analizzare dati diffusi attinenti il singolo veicolo, su cui viene montato un GPS [21]. Il campione a nostra disposizione corrisponde a circa il 2% di tutti gli autoveicoli circolanti, e assumiamo non sia affetto da patologie (per esempio una forte preminenza di giovani, o di un'altra categoria sociale o professionale o generazionale). La precisione media della posizione è di circa 10 m, e il campo di velocità è molto accurato mentre la misura della densità risente della numerosità insufficiente del campione rispetto all'estensione della rete viaria. Quindi abbiamo sviluppato metodi per ricostruire le traiettorie in aree urbane, per farne una statistica su tempi lunghi.

Nelle [fig. 4](#) e [5](#) mostriamo alcuni esempi del tipo di conoscenza che l'analisi da noi compiuta ci ha dato.

Qui per finire vorremmo porre il problema della previsione. Ora è evidente che, in linea di principio, non conosciamo la predicibilità del sistema, in particolare non sappiamo come l'errore, o incertezza che dir si voglia, si



propaga e cresce nel tempo. Però la scoperta di regolarità, quali quella graficata in fig. 5, permette almeno di avere una visione statistica coerente e robusta, e quindi di delimitare il perimetro di indagine in vista di un modello ragionevolmente predittivo.

6 Conclusioni

Come abbiamo cercato di mostrare la Fisica della Città ha sia una dimensione di ricerca teorica, la evoluzione di un gas d'automi, che un ampio campo di applicazioni, per ora soprattutto sulla mobilità, problema intricato e di rilevanza sociale. Inoltre sviluppa non solo una collezione di modelli e di esperimenti virtuali, ma sta raccogliendo e analizzando un ampio insieme di dati osservativi che rendono la possibilità di previsione non più inscritta nel libro dei sogni, ma invece tracciata nei quaderni di laboratorio.

Per finire ci piace citare una frase di Ettore Majorana, laddove scrive: "Il determinismo che non lascia alcun posto alla libertà umana e obbliga a considerare come illusioni (...) tutti i fenomeni della vita, racchiude una reale causa di debolezza: la contraddizione immediata e irrimediabile con i dati più certi della nostra coscienza (...). Sarà nostro scopo ultimo l'illustrare il rinnovamento che il concetto tradizionale delle leggi statistiche deve subire in congruenza del nuovo indirizzo della fisica contemporanea."

Bibliografia

- [1] J. G. Wardrop, "Some theoretical aspects of road traffic research", *Proc. Inst. Civil Engin.*, 1-2 (1952) 325.
- [2] I. Prigogine, R. Herman, "Kinetic theory of vehicular traffic" (Elsevier, New York) 1971.
- [3] K. Nagel, M. Schreckenberg, "A cellular automaton model for freeway traffic", *J. Phys. I*, 2 (1992) 22221.
- [4] D. B. Lee Jr., "Requiem for Large-Scale Models", *J. Am. Inst. Planners*, 39, no. 3 (1973) 163.
- [5] M. Batty "Modelling cities as dynamic systems", *Nature*, 231 (1971) 425.
- [6] S. Albeverio, D. Andrey, P. Giordano, A. Vancheri (Editors), "The Dynamics of Complex Urban Systems— An Interdisciplinary Approach" (Springer, Heidelberg, New York) 2007.
- [7] B. Giorgini, "Philosophie naturelle de la causalité et du hasard dans un modèle de mobilité urbaine", *Chaos*, a cura di S. Franceschelli, T. Roque, M. Paty (Herman, Paris) 2007, p. 259.
- [8] R. N. Giere, "Explaining Sciences. A Cognitive Approach" (The University of Chicago Press) 1988.
- [9] B. Giorgini, "Il tempo del caos" in "Il tempo e la città tra natura e storia. Atlante dei progetti sui tempi della città", a cura di S. Bonfiglioli e M. Mareggi (Urbanistica Quaderni INU, Roma) 1997, p. 325.
- [10] B. Giorgini, A. Bazzani e S. Rambaldi (Guest Editors) "Physics and the City", *Advances in Complex Systems*, 10, Suppl. no. 2 (2007).
- [11] G. Martinotti, "Metropoli: la nuova morfologia sociale della città", (Il Mulino, Bologna) 1997.
- [12] K. R. Popper, "A World of Propensities" (Thoemmes Antiquarium Books, Bristol) 1990.
- [13] D. Helbing "Traffic and Related Self-Driven Many Particles Systems", *Rev. Mod. Phys.*, 73 (2001) 1067.
- [14] J. Van Neumann, "The General and Logical Theory of Automata", *Collected Works*, Vol. V (Pergamon Press) 1963.
- [15] G. Turchetti, F. Zanlungo e B. Giorgini, "Dynamics and thermodynamics of a gas of automata", *Europhys. Lett.*, 78 (2007) 58003.
- [16] B. de Finetti, "Theory of Probability" (Wiley, New York) 1974-5.
- [17] A. Bazzani et al. "Un modello per la mobilità asistematica nel centro storico di Rimini", *Trasporti e Territorio*, 16 (2003) 141.
- [18] A. Bazzani, B. Giorgini, F. Zanlungo e S. Rambaldi, "Cognitive dynamics in an automata gas", *Atti del Workshop Italiano su Vita Artificiale e Computazione Evolutiva (Wivace'08), Venezia (Italy)*, a cura di R. Serra, M. Villani e I. Poli (World Scientific, Singapore) 2008.
- [19] G. Boffetta, M. Cencini, M. Falcioni e A. Vulpiani, "Predictability: a way to characterize complexity", *Phys. Rep.*, 356 (2002) 367.
- [20] G. Melchiorre et al., "Walking in Venezia Carnival: Crowd dynamics and pedestrian trajectories", a cura di M. Pezzagno, E. Chiaf (Editors). "Space for public shows and trade fairs". XIV International Conference Living and Walking in Cities, Brescia: www.polibrixia.it (Polibrixia srl., Brescia) 2007, pbx003.
- [21] S. Rambaldi, A. Bazzani, B. Giorgini, L. Giovannini, "Mobility in modern cities: looking for physical laws", *ECCS07-132* (Complex System Society) 2007.

Il laboratorio di Fisica della Città ha operato fino al 2008 con il sostegno finanziario di Volvo Auto Italia. I dati per la mobilità autoveicolare sono forniti, per scopi scientifici e senza fini di lucro, dalla OctoTelematics. I dati del Carnevale di Venezia sono stati acquisiti sul campo nel 2006, 2007 nell'ambito di un progetto PRIN 2005-2007 coordinatore nazionale Guido Martinotti.

Bruno Giorgini

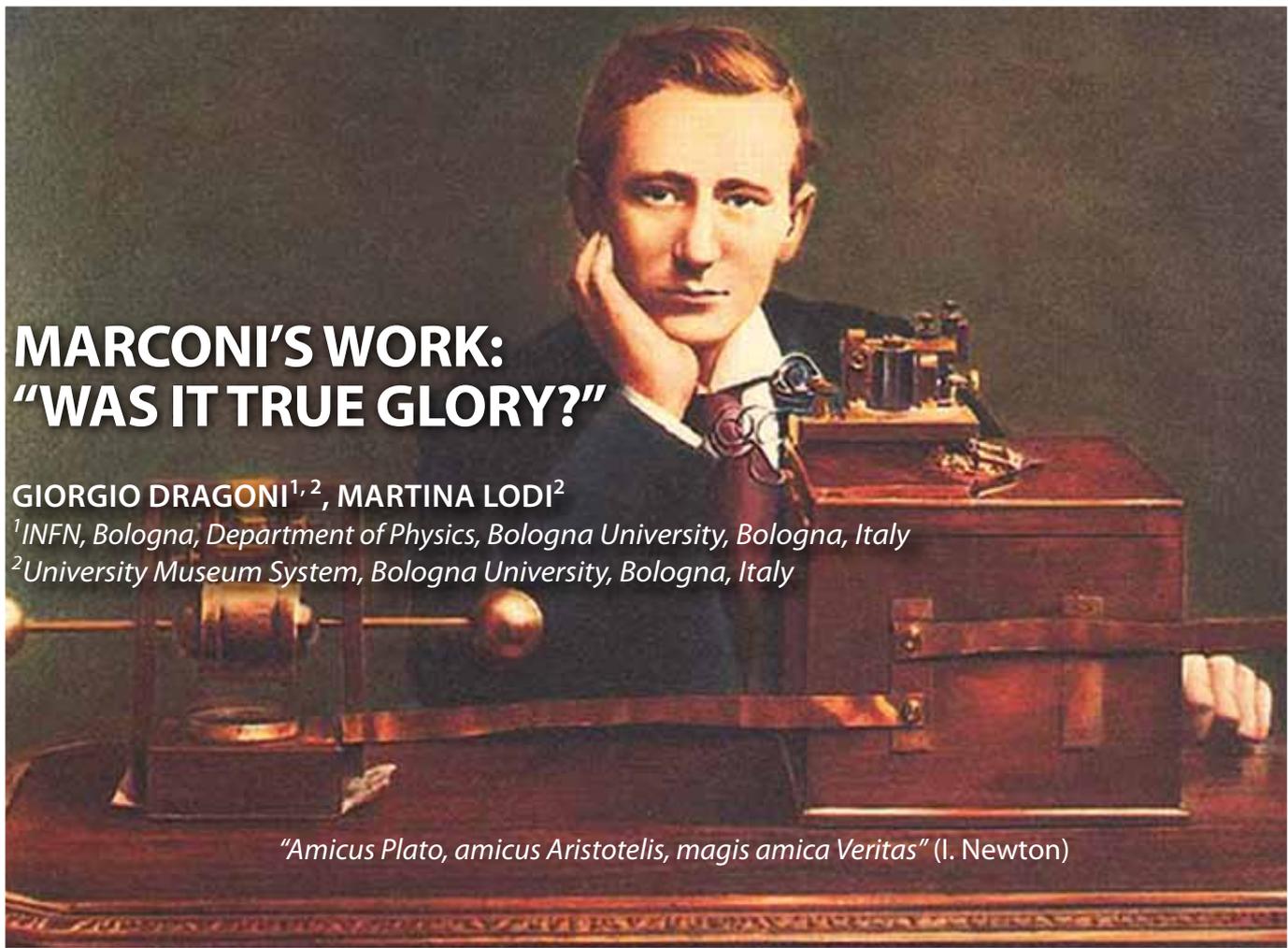
È Ricercatore Universitario al Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna, incaricato di ricerca INFN-gruppo IV-sezione di Bologna, membro del Comitato Scientifico del MO.VE (Mobility Venice), membro del Cantiere della Biennale di Venezia "Città Mobilità Cultura", docente del Laboratorio di Fisica dei Sistemi Complessi-Facoltà di Scienze, corso di laurea magistrale in Fisica.

Ha fatto ricerca nel campo della astrofisica relativistica, in cosmologia multidimensionale e in meccanica quantistica su spaziotempi curvi.

In seguito si è dedicato allo studio dei sistemi caotici e complessi e in particolare all'evoluzione delle epidemie e alla teoria delle fratture, fondando infine il Laboratorio di Fisica della Città di cui è stato coordinatore dal 2004 al 2007.

Ha lavorato, oltre che all'Università di Bologna, all'Université Paris VI "P. et M. Curie" – Laboratoire de Mécanique Relativiste, all'Université Paris VII – Laboratoire de Physique, Théorique et Mathématique, all'ESPCI (Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles), Laboratoire de Mécanique des Milieux Hétérogènes del CNRS e al Politecnico di Milano – Laboratorio dei Tempi e dei Luoghi della Città.

Ha pubblicato numerosi articoli scientifici e alcuni libri.



Guglielmo Marconi at the time of his early experiments (Fondazione Marconi courtesy).

MARCONI'S WORK: "WAS IT TRUE GLORY?"

GIORGIO DRAGONI^{1,2}, MARTINA LODI²

¹INFN, Bologna, Department of Physics, Bologna University, Bologna, Italy

²University Museum System, Bologna University, Bologna, Italy

"Amicus Plato, amicus Aristotelis, magis amica Veritas" (I. Newton)

"Was it true glory? Posterity thine be the hard decision". (A. Manzoni)

The authors' answer is: Yes it was! To celebrate the centenary of the Nobel prize awarded to Marconi in 1909, the origin and the way in which wireless telegraphy was born and developed are reviewed

We shall describe in the following the very beginning of the young Marconi's cultural scientific education. The aim is to show how Marconi chose (perhaps unconsciously) a personal and very effective educational method to improve his practical experience and his conceptual knowledge of science, especially on electromagnetism. Thanks to his practical and scientific improvements on electromagnetism, Marconi was able to acquire important elements of innovation on a scientific background concerning oscillators and resonators employed by several scientists at that time, so as to achieve an effective and practical method of telegraphy without wires. A survey will be given of the personalities who contributed to develop the field of early electrical communication, preparing Marconi's work on which

we intend to concentrate our attention. It is opinion of the authors that, in the context of his time, Marconi's role was, beyond any possible doubts, decisive for the invention and the development of wireless telegraphy, the radio.

1 Introduction

The history of wireless telegraphy is a very long and complex history to whose invention and development many technicians, scientists and inventors took part. It is our intention to offer our readers a reference historiographical frame to this history, so that it will be possible to get information about some of the people connected with the developing of wireless telegraphy since its very beginning.

For this purpose, we must quote at least six scientists who gave a contribution to this matter from 1830 to 1880. We mean P. S. Munck, S. A. Varley, J. Henry, M. Loomis, W. H. Ward, A. E. Dolbear.

- It was in 1835 that **P. S. Munck af Rosenschöld** (1804-1860) of Lund University published in the *Annalen der Physik und Chemie* an article in which he described the behaviour of metal filings and the variation in electrical resistance according to their physical dimensions and feature. Munck discovered a peculiar phenomenon, an electrical spark emitted from a Leyden jar changed immediately the electrical resistance of the filings preserved in a glass jar (from 1 MΩ to hundreds of Ω).
- **Samuel Alfred Varley** (1832-1921) in 1852 rediscovered the same effect of the falling down of the resistance of several winds of powders during the thunderstorms. These physical effects are at the basis of an important device of telegraphy without wires. We mean the receiver. In principle, in this effect we could recognize a sort of switch system to detect the electromagnetic waves arrival.
- More attention should be given to **Joseph Henry** (1797-1878), the first great American scientist after Benjamin Franklin. He discovered several important principles of electricity including self-induction and the laws upon which the transformer is based. According to wireless telegraphy, attention should be paid to the experiments performed and described in his article, published by the *Proceedings of the Smithsonian Institution* (Washington, D. C., USA, Vol. I, p. 203), in which Henry magnetised a needle in a coil at 30 feet distance, and magnetised a needle by a discharge of lightning at eight miles distance. He used an elevated antenna and sent signals between a tuned transmitter and receiver nearly fifty years before Lodge and Hertz.
- Another impressive case was that of **Mahlon Loomis** (1826-1886). In 1865 M. Loomis, an American dentist, transmitted wireless-telegraph messages between two Blue Ridge mountains tops in West Virginia (distance 22,5 km) using aerials held in the air by kites. Loomis obtained the U. S. patent (127.971) for a wireless telegraph in 1872. The patent was entitled *An Improvement in Telegraphing*, but he never obtained financial support to develop his system. In other words nobody believed him. Loomis last words as reported by his familiars are the following: "I know that I am by some, even many, regarded as a crank – by some perhaps a fool... But I know that I am right, and if the present generation lives long enough their opinions will be changed – and their wonder will be that they did not perceive it before. I shall never see it perfected – but it will be, and others will have the honour of the discovery".
- **William Henry Ward** (1843-1872) performed several experiments and on 30th April 1872 he was the first person to be granted a U. S. patent (126.356) relating to wireless telegraphy (*Improvement for Collecting Electricity for Telegraphing*). His patent was received three months before Loomis' one, about which we have just given some information. Ward had invented an electrical tower for accumulating natural electricity for telegraphic purposes, including an aerial wireless telegraph system. We have, however, no evidence that this patented system could have actually worked.
- **Amos Emerson Dolbear** (1837-1910) was a professor at Tufts University in Medford (near Boston), Massachusetts, in the Department of Astronomy and Physics. In 1868 Dolbear invented the electrostatic telephone. He communicated over a distance of a quarter of a mile without wires and in 1886 he was issued a U.S. patent (350.299) for a wireless telegraph: *Mode of Electric Communication*.

2 The forerunners

Following the previous scientists, we must recall the singular and astonishing case of David Edward Hughes (1831-1900). Hughes was the co-inventor of the microphone and an accomplished Welsh musician and professor of music as well as chair of natural philosophy at a seminary for women in Bardstown (Kentucky). In December 1879 the Anglo-American inventor demonstrated the reception of electromagnetic signals from a spark transmitter located some hundreds of meters away. In these experiments he conducted a current from a voltaic cell through a glass tube loosely filled with zinc and silver filings, which "cohered" when electromagnetic waves impinged on it.

- **David Edward Hughes** (1831-1900) noticed electrical interference in an induction balance he was working with. The observed effect was due, according to Hughes' opinion, to electromagnetic waves. He improved the coherer (as later on called by Lodge) as a receiver (D. Hughes, *Proceedings of the Royal Society*, May 8 (1878)). In a letter (April 29, 1899) to J. J. Fahie, Hughes wrote: "...In December 1879 I invited several persons to see the results then obtained. Amongst others who called on me and saw my results were: Dec. 1879. Mr. W. H. Preece, F. R. S.; Sir W. Crookes, F. R. S.; Sir W. Roberts-Austen, F. R. S.; Prof. W. Grylls Adams, F. R. S.; Mr. W. Grove. Feb. 20, 1880. Mr. W. Spottiswoode, President of the Royal Society; Prof. T. H. Huxley, F. R. S.; Sir G. G. Stokes, F. R. S. Nov. 7, 1888. Prof. J. Dewar, F.R.S.; Mr. R. N. Lennox, Royal Institution. They all saw experiments upon aerial transmission, as already described, by means of the extra current produced from a small coil and received upon a semi-metallic microphone, the results being heard upon a telephone in connection with the receiving microphone. The transmitter and receiver were in different rooms, about 60 feet apart. After trying successfully all distances allowed in my residence in Portland Street, my usual method was to put the transmitter in operation and walk up and down Great Portland Street with the receiver in my hand, with the telephone to the ear. [...] The President of the Royal Society, Mr. W. Spottiswoode, together with the two hon. secretaries, Prof. T. H. Huxley and Prof. G. G. Stokes, called upon me on February 20, 1880, to see my experiments upon aerial transmission of signals. The experiments shown were most successful, and at first they seemed astonished at the results; but towards the close of three hours' experiments Prof. Stokes said that all the results could be explained by known electromagnetic induction effects, and therefore he could not accept my view of actual aerial electric waves unknown up to that time, but thought I had quite enough original matter to form a paper on the subject to be read at the Royal Society. I was so discouraged at being unable to convince them of the truth of these aerial electric waves that I actually refused to write a paper on the subject until I was better prepared to demonstrate the existence of these waves". Our comment, in short, is the following: neither authoritative members of the Royal Society in London (1880), nor those of the Royal Institution (1888) understood the innovative technological importance of Hughes' experiments. We must add to Hughes' case a singular appendix, thanks to the following episodes. Alan Archibald Campbell Swinton (1863-1930), the gentleman who helped the young Marconi (1896) when he had just arrived in London giving him a letter of introduction to

William Preece (1834-1913) – who was at the time Engineer-in-Chief of the British Post Office – was the person that in 1922, after Hughes' widow died, bequeathed some of Hughes' remaining notebooks preserved at the British Museum. Campbell Swinton examined these texts and he was able to find further notebooks and Hughes' original equipments. Following Campbell Swinton's analysis: "They prove that Hughes undoubtedly noted some of the effects now known to be due to high frequency waves. He used a small spark coil as a generator, and a Bell telephone and a battery generally connected in series with a microphone as a receiver. The microphone apparently acted sometimes as a coherer...He received signals up to distances of about a hundred yards...nine years before Hertz's memorable discoveries."

- **Temistocle Calzecchi Onesti** (1853-1922) wrote some articles about this issue: "*Sulla conduttività elettrica delle limature metalliche*" in *Il Nuovo Cimento*, 16 (1884) 58–64 and, with the same title *ibidem*, 17 (1885) 38-42; and "*Di una nuova forma che può darsi all'avvisatore microsismico*", *ibidem*, 19 (1886) 24-26. Through these studies he carefully investigated how the resistance of metal filings in an ebonite or glass tube is effected by electrical discharges. In 1884-85 Calzecchi Onesti found that copper filings heaped between two plates of brass were conductors or non-conductors according to the degree of heaping and pressure, and that in the latter case they could be made conductors under the influence of induction. In 1884 the Italian physicist observed that loosely packed metallic powders are bad electricity conductors until subjected to some external forces such as electric sparks generated by the opening and closing of an electrical circuit, or the presence of inductive fields, or by electrostatic induction. When the coherer is subject to the influence of radio waves (as is the electromagnetic field produced by a spark), probably because of microscopic electric arcs that weld together adjoining metal particles, an electric current can flow from one electrode to the other. In other words the coherer acts like a kind of semi-



Fig.1 Coherer (*tubetto a limatura*) by T. Calzecchi Onesti (Calzecchi Onesti Family courtesy).

conductor device, something like a triode for alternating current, where the trigger is a radio wave instead of a current applied to the gate. In later times others went over his discovery and finally applied it to the detection of coded signals such as Morse coded radio broadcasts. For these experiments Calzecchi Onesti had actually constructed a glass tube (35 millimetres long and 10 millimetres internal diameter) (see fig. 1).

- **Edouard Eugène Désiré Branly** (1844-1940), physics professor at the Catholic University of Paris, began his work investigating the transmission of nerve impulses. His research over the next several years would result in what would later (Lodge) be called the

"coherer", a device for detecting "Herzian waves". In 1890 Branly found that a nearby electromagnetic disturbance can lower the resistance of a thin layer of copper. It may be noted that the idea and use of "antenna" may be found in his paper published in 1891. However, the device which made Branly famous, the "filings tube", more generally known as a "coherer", is a very special sort of conductor. It consists in a glass tube filled with metal filings which acts as an insulator when placed in a circuit containing a battery and a galvanometer. However, if an electric spark is created some distance away, it becomes a conductor and lets the current pass into the circuit. When the tube is tapped lightly, it becomes an insulator again and interrupts the current. This phenomenon was described by Branly in 1890 in relation with researches carried out on the photoelectric effect. At that time, although the action of the spark on the tube could be observed across the walls of his laboratory and over a distance of up to twenty metres, Branly never dreamed of the possibility of transmitting signals by this means. He was mainly concerned with establishing a parallel between medicine and physics, and he was to offer the medical world an interpretation of nerve conductivity based on the model of the conductivity of filings tubes. It was the British physicist Oliver Lodge who was to publicly demonstrate the link between the filings tube and electromagnetic waves. He gave large resonance all over the world to Branly's experiments. In France Branly is considered the father of radio transmissions. As a matter of fact the results of Branly's investigations are clearly described in "*La lumière électrique*", in *Journal universel d'électricité* 13 (1886); "*Variations de conductibilité sous diverses influences électriques*", in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* CXII (1890) 785-787; "*Variations de conductibilité sous diverses influences électriques*", *ibidem* 12 Jan. CXIII (1891) 90-93; "*Recherches sur les variations de conductibilité de certaines substances sous diverses influences électriques*", in *Société française de physique* (1891); "*Sur la conductibilité des substances conductrices discontinues*", in *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* CXIX (1895).

- **Henrich Rudolf Hertz** (1857-1894) was the famous German physicist who confirmed in laboratory Maxwell's work about the electromagnetic theory of light. Hertz used the damped oscillating currents in a dipole antenna, triggered by a high-voltage electrical capacitive spark discharge, as his source of electromagnetic waves. His detector in some experiments was another dipole antenna connected to a narrow spark gap. A small spark in this gap signified detection of the electromagnetic waves. In 1888 Hertz described, in an electrical journal, (H. Hertz, *Annalen der Physik*, 270, no. 5 (March, 1888) 155-170; no. 7 (May, 1888) 551-569) how he was able to trigger his electromagnetic waves with his oscillator. Hertz seemed uninterested in the practical importance of his experiments. In fact, when Hertz's students were impressed, and wondered what use might be made of this marvellous phenomenon, he denied this possibility. On 1st December 1889 a Munich electrician, Heinrich Huber, wrote to Hertz: "...I should be very interested to hear whether it would not be possible, according to your theory, to transmit the magnetic lines...over a distance. I am thinking in the first instance of transformers and telephone." (C. Susskind, "*Heinrich Hertz: a Short Life*" (San Francisco Press) 1995, p.161). In other words it means to use electromagnetic waves for wireless transmission. Hertz's reply came by return mail on 3rd December 1889: "...the oscillations of a transformer or a telephone are much too slow. Take a thousand oscillations per second, which is surely a high figure, yet the corresponding wavelength in the ether, would be 300 kilometres, and the focal lengths of the mirrors as large as a continent..." (H. Hertz, "*Electric Waves, being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space*", English translation by D. E. Jones (MacMillan, London, 1893). Hertz's negative answer had a highly technical character, but it concerned

the transmission of voice, and not of signals.

The great American inventor Thomas Alva Edison (1874-1931) demonstrated by 1888 free-space system of telegraphy based on electric induction. In particular, during the Great Blizzard of 1888, Edison used his system to send and receive wireless messages from trains buried in snowdrifts. He received a patent for wireless telegraphy in 1891, as *Means for Transmitting Signals Electrically* (U.S. patent 465.971).

Anyway, the most successful inventor of an electromagnetic induction wireless system was William Preece (1834-1913), the Engineer-in-Chief of the British Post Office. Preece's tests were exploited across gaps of about 5 kilometres, e.g. the Bristol Channel (1892). However, his induction system required extensive and expensive length of wire, many kilometres long, at both the sending and receiving ends, which made it impractical for large use like on ships, islands, etc. In fact, within the electromagnetic field equations, which are at the basis of distance signals transmission, the inductive component quickly disappeared with the inverse of the square of the distance, while the other one, the radiative component, developed the phenomenon of electromagnetic radiation of signals (see fig. 2).

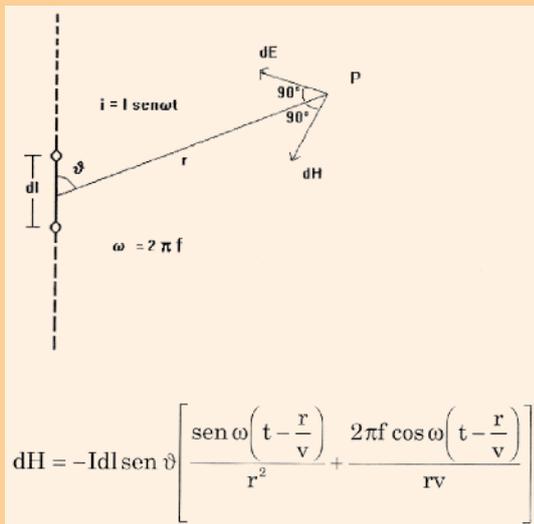


Fig. 2 Inductive and radiative components of the electromagnetic field.

- **Vincenzo Rosa** (1848-1908) attended the university in Turin, where he was fellow-student and friend of Galileo Ferraris (1847-1897). He obtained a degree in mathematical physics in Turin in 1876. He was appointed as teacher in the school of Monteleone di Calabria. In 1879 he started teaching in Reggio Calabria, where he received the visit of the school inspector, the physicist Antonio Roiti (1843-1921) who was impressed by his background and he wanted him as his assistant in Florence in 1880. From 1887 he taught at the high school in Leghorn. He began to devise a system of synchronized clocks through an electromagnetic signal transmitted by a clock driver. Guglielmo Marconi's mother (Annie Jameson) had her son attended by Vincenzo Rosa in autumn of 1891 when the Marconi family stayed in Leghorn (Guglielmo Marconi was 17). Rosa had in his house a laboratory with several scientific models and instruments. Marconi learned to use them and to help Rosa preparing the lessons of the following days. Later Marconi began to follow the teacher in his school, and to act as his mechanic and helper during his lectures and his stay in school. Rosa gave to Marconi useful private lessons in physics, chemistry

and electricity, from the autumn of 1891 to October 1892. It should be noted that in Rosa's laboratory, Marconi experimented for the first time the coherer as signaller of atmospheric discharges. Rosa was an industrious electrician and Guglielmo Marconi always considered him as his only true master.

- **Sir William Crookes** (1832-1919) discussed about wireless telegraphy in his paper "On Some Possibility of Electricity" (W. Crookes, "On Some Possibility of Electricity", in *London Fortnightly Review*, February 1 (1892) 174-176): "Here is unfolded to us a new and astonishing world...Rays of light will not pierce through a wall, nor, as we know only too well, through a London fog. But the electrical vibrations of a yard or more in wavelength...will easily pierce such mediums, which to them will be transparent. Here, then, is revealed the bewildering possibility of telegraph without wires, posts, cables or any of our present costly appliances. Granted a few reasonable postulates, the whole thing comes well within the realms of possible fulfilment...". As J. J. Fahie commented on his book (J. J. Fahie, "A History of Wireless Telegraphy", 2nd ed., revised (1899) 289-316): "This is no mere dream of a visionary philosopher. All the requisites needed to bring it within the grasp of daily life are well within the possibilities of discovery, and are so reasonable and so clearly in the path of researches which are now being actively prosecuted in every capital of Europe, that we may any day expect to hear that they have emerged from the realms of speculation into those of sober fact. Even now, indeed, telegraphing without wires is possible within a restricted radius of a few hundred yards, and some years ago. I assisted at experiments where messages were transmitted from one part of a house to another without an intervening wire by almost the identical means here described." While Fahie was revising the last sheets of his work, it occurred to him to ask Sir William Crookes on some particulars of the experiments to which he alluded in his *Fortnightly* article. On April 22, 1899, Sir William Crookes replied as follows: "Dear Mr. Fahie, the experiments referred to at page 176 of my *Fortnightly* article as having taken place "some years ago" were tried by Hughes when experimenting with the microphone. I have not ceased since then urging on him to publish an account of his experiments."
- **Oliver Joseph Lodge**, professor of Experimental Physics at the University of Liverpool, delivered a series of seminal lectures entitled "The Work of Hertz and Some of His Successors" (1894). Following Hertz's death, on 1st January 1894, Lodge was invited to deliver these lectures at the Royal Society. Lodge's experiments stimulated a well known telegraph engineer, Alexander Murihead, to suggest that Hertzian waves might be used for communications purposes. A sensitive mirror galvanometer was connected to the coherer so that the detection of electromagnetic waves was visible to the audience in the form of a moving beam of light. Later that same month, Lodge used a small portable receiver based on similar equipment to demonstrate the detection of electromagnetic waves at the annual "Ladies' Conversazione" of the Royal Society in London. In particular, Lodge emphasized that Branly's powders were "the most astonishing sensitive detector of Hertz waves" and coined the term "coherer". Both at the Royal Institution, June 1, 1894, and later in the same year at the Oxford meeting of the British Association, Lodge showed how his form of Branly detector could be made to reveal signals at a distance of about 150 yards from the exciter. He wrote: "Signalling was easily carried on from a distance through walls and other obstacles, an emitter being outside on a galvanometer and detector inside the room." ("The Work of Hertz and Some of His Successors" (1897 ed.) p. 67) According to Sir Ambrose Fleming, Lodge was able to transmit a dot or a dash signal and by suitable combinations to send any letter of the alphabet in the Morse code and consequently intelligible messages. It is, therefore, unquestionable that on this occasion Lodge exhibited electric wave telegraphy over a short distance.

- In 1894 **Jagadis Chandra Bose** (1858-1937) was inspired to study the properties of electric waves after reading Oliver Lodge's *"The Work of Hertz and Some of His Successors"*. Bose devised and fabricated a new type of radiator for generating radio waves. He also built a unique and highly sensitive "coherer" or radio receiver for receiving radio waves. Bose's coherer was far more compact, efficient and effective than the ones used in Europe by Branly and Lodge. In particular Bose replaced the irregular filings by fine wire spiral springs. In May 1895, he read his first research paper before the Asiatic Society of Bengal *"On the Polarisation of Electric Rays by Double Reflecting Crystals"*. In the same years one of his papers titled *"On the Determination of the Indices of Refraction of Sulphur for the Electric Ray"* was communicated to the Royal Society of London by Lord Rayleigh. The paper was read before the Royal Society in December 1895 and was accepted for publication in the Society's proceedings in January 1896. Bose's articles were published in *The Electrician* of Friday 27 December. On April 27, 1899 J. C. Bose read his paper *"On a Self Recovering Coherer and Study of Cohering Action of Different Materials"*, at the Royal Society in London. He clearly spoke about the invention of coherers using conductors separated by mercury. It must be noted that a drop of mercury decoherers automatically if it is compressed so as to just form a layer filling the space between the electrodes. He developed a complete system of generation, propagation and reception of wireless waves at a frequency as high as 60GHz. Although Bose filed for patent for one of his inventions due to peer pressure, his reluctance to any form of patenting was well known. Anyway Sara Chapman Bull succeeded in persuading him to file a patent application for *A Device for Detecting Electrical Disturbances*. The application form was filed on 30 September 1901 and it was granted on 29 March 1904 as U.S. patent No. 755,840.
- **Alexander Stepanovitch Popov** (1859-1906) is acclaimed in Russia as the inventor of wireless telegraphy. At the Meeting of the Russian Physical and Chemical Society on May 7, 1895, Popov demonstrated a system for detecting distant electromagnetic disturbances (lightning discharges in the atmosphere many miles away). Popov receiver consisted of a metal filings coherer he had developed as the detector element together with an antenna, a relay, and a bell. The relay was used to activate the bell which both announced the occurrence of a lightning discharge and served as a "decoherer" (tapper) to prepare the coherer to detect the next lightning discharge. In July 1895, Popov's apparatus was installed in the Observatory of the Forest Institute at St. Petersburg. In March 1896 Popov publicly obtained the transmission of a signal through a distance of 550 m between two campus buildings. Popov collaborated successfully with the French engineer-businessman Eugène E. Ducretet (1844-1915), who begun serial production of wireless telegraphy equipments in 1898. That apparatus was named "Popov-Ducretet system" and was used for the naval departments in Russia and France.
- **Ernest Rutherford** (1871-1937) is well known in the history of nuclear physics. Anyway, it must be underlined that at the very beginning of his research he devoted himself on the magnetic detection of electromagnetic waves. His thesis was entitled *"Magnetization of Iron by High-Frequency Discharges"* (1893). Rutherford's researches resulted in his first substantial scientific papers and won him a scholarship, which provided for further education in England. Rutherford employed a magnetic effect to detect Hertzian waves over a distance of two miles. He delivered an experimental lecture on his research before the Cambridge Physical Society. The lecture was published by the Royal Society of London (E. Rutherford, *"A Magnetic Detector of Electrical Waves and Some of its Applications"*, *Proceedings of the Royal Society*, 60 (1896) 184). Marconi's

- magnetic detector follows Rutherford's magnetic principle.
- The physicist **John Stone Stone** (1896-1943) attended the Johns Hopkins University, where he graduated in 1890; he then began his career as a telephone engineer at the Research and Development Laboratory of the American Bell Telephone Company in Boston (Massachusetts). Stone's special ability in mathematical analysis led H.V. Hayes, chief engineer of the Telephone Company, to ask him to investigate the possibility of transmitting speech messages by telephone through Hertzian waves without the use of wire conductors. Stone made a masterly report of this work. He also filed patents covering his work on carrier current, or wired wireless, as it was termed later. Stone applied for a patent on tuning on February 8, 1900, and it was allowed February 2, 1902 (No. 714.756). This was a year and a half before the grant of Marconi's American patent No. 763.772 on tuning. Stone's arrangement featured a four-circuit wireless telegraph apparatus substantially like that later specified and patented in America by Marconi, who had previously been granted an equivalent British patent, the famous No. 7777 (1900).
 - **Adolph Slaby** (1849-1913), who had studied with Heinrich Hertz, had actually witnessed some of Marconi's demonstrations in Britain. In the April 1898 issue of *Century*, he wrote: "...when the news of Marconi's first success ran through the newspapers, I myself was earnestly occupied with similar problems. ...Quickly making up my mind, I travelled to England, where the Bureau of Telegraphs was undertaking experiments on a large scale. Mr. Preece, the celebrated Engineer-in-Chief of the General Post Office, in the most courteous and hospitable way, permitted me to take part in these; and in truth what I saw was something quite new". Slaby presently returned to Germany, continued his research and was soon awarded several patents. In collaboration with Georg Wilhelm Alexander Hans Graf (Count) von Arco (1869-1940) he developed the Slaby-Arco system, the foundation of Telefunken. Soon Slaby-Arco representatives would be submitting equipments and bids to the U.S. Navy Department, with considerable success.
 - In 1893 the great inventor **Nikola Tesla** (1856-1943) proposed to transmit electrical oscillations to any distance through space, by erecting at each end a vertical conductor, connected at its lower end to earth and at its upper end to a conducting body of large surface (N. Tesla, *"Experiments with Alternating Currents of High Frequency"* in *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 97 (1892) 51). In particular, in Tesla's lecture *"On Light and other High Frequency Phenomena"* before the Franklin Institute in Philadelphia, Pennsylvania, February 1893, one finds disclosed the basis of modern radio transmission: "I mean the transmission of intelligible signals or perhaps even power to any distance without the use of wires...". Again, Tesla demonstrated the principles of wireless telegraphy – among other frames and outstanding physical effects like luminescent lamps, induction engine, ... – in occasion of the World Columbian Exposition of the same year in Chicago. Unfortunately, the fire that destroyed Tesla's laboratory in New York on March 1895, postponed his further experiments not only on radio but also on electrical lighting and X-ray investigations. That is perhaps why he submitted two basic radio patents on 2nd September 1897 (N° 645.576; N° 649.621), a year after Marconi submitted his patent. A long legal dispute anyway started in comparison of Marconi's Company later on. In 1943, the U.S. Supreme Court gave to Tesla the priority for the invention of the radio thanks to some of his patents. The American sentence is based also on the validity of prior applications made by Tesla between 1891-1893. Anyway, since 1911 the British High Court gave the rights to Marconi's Company.

3 Young Marconi's scientific and practical education

In our opinion, for a better comprehension of Guglielmo Marconi's role in the birth of radio communications it is necessary to put under sharp examination his first scientific education. It is well known that Marconi was, to a very large extent, a self-taught man. In other words, he did not follow regular and public courses of study. He never got either a high school diploma or a university degree. He got only *honoris causa* degrees, later, when he had reached fame. On the contrary, it is not sufficiently understood that Marconi, consciously or unconsciously, made in his first scientific education specific choices of the arguments to be studied. These choices were in accordance with his interest in chemistry, physics and above all, since at least 1891, electromagnetic waves. Marconi's choices (and outstanding capabilities) were, of course, very personal and to a certain extent determined by his intellectual gifts, his health and family circumstances. It must be underlined, that the very efficient way chosen by Marconi for his education could be considered today almost as a model of scientific education. His choices were always selected according to his interests and ideas (good or not as they were). As a young inventor, he made a selection of the subjects to be studied according to his ideas: for instance he deepened, with every kind of reading, practical know-how, materials and instruments, his knowledge of a new type of battery or a traditional or new type of telegraphy. Another specific feature of his scientific method was to verify his experiments not just in a laboratory (as traditionally used by physicists of the time) but in the open air, in the wider space of the entire world. Another important feature of Marconi's approach to science and technique was to put forth for consideration his inventions and devices, thanks to his patents, at commercial and industrial levels. And this had inevitable risks. Marconi was a scientist, radio inventor, but also a business man. He was the son of a wealthy Italian landowner, Giuseppe (1826-1904), by his second wife Annie Jameson (1843-1920), of a well known family of Irish whiskey distillers. Marconi was born in Bologna, Italy, on April 25, 1874. He was educated by private tutors because, due to his poor health, it was impossible for him to attend school regularly, even at the very beginning of his studies. For instance, he was enrolled at the private Istituto Cavallero at Via delle Terme near Piazza Santa Trinità in Florence (in which he developed a long life friendship with the young Marquis Luigi Solari, later on one of his most important collaborators) where he attended the first year of the junior secondary school; then he left school. In 1891 he was enrolled at the Technical Institute at Leghorn, in Via Cairoli, where he attended with enthusiasm professor Giotto Bizzarrini's lectures on physics. Moreover, to improve

his knowledge in this field, Marconi, since the autumn of 1891, was privately educated not only by Bizzarrini but also, for more than a year, by professor Vincenzo Rosa, as we mentioned of the Liceo Niccolini in Leghorn. According to Marconi's biographies, Guglielmo received lessons at the Liceo by Rosa and helped him as a technical assistant in his educational duties and research. Marconi asked for help to an old telegraphist, Nello Marchetti, who taught him Morse's alphabet and technique of classical (with wires) telegraph transmissions. In Leghorn Marconi, thanks to the sea air reinforced his health and also improved his culture. For a long while, thanks to his mother, he was much fluent in English than in Italian. He improved his interests in physics, through free readings of technical articles about electricity, part of them delivered by his English relatives and thanks to fine books such as Benjamin Franklin's biography. Marconi was very interested in these subjects and he not only attended Rosa's lectures at his home, in which Rosa had a laboratory, but he accompanied him back and forth to his Liceo asking questions about technical and scientific arguments. The following year Rosa was moved to Alessandria in Piedmont, so it was impossible for Marconi to maintain direct links with him, but during the summer holidays of 1894, spent by Marconi's family in the Biellese mountains of Andorno, Guglielmo had the opportunity of meeting Rosa, who was spending his holidays not far from that place, at Candelo at about 10 km from Andorno. On this occasion Marconi had the possibility of discussing with Rosa Lodge's articles on Hertz's death (January, 1st 1894), above quoted, and his experiments about electrical waves. Once again, Marconi showed his determination in the research for scientific and technical information. Lodge's articles were published in *The Electrician* and in *Nature* of that year. Marconi's knowledge in that field was further improved thanks to his attendance at Righi's (a well known physicist professor at Bologna University) laboratory, library and lectures since 1892. During that period Righi was involved in his experiments – following those of Hertz (1887-8) published in the journal *Annalen der Physik und Chemie*, then in Hertz's first book, *Untersuchungen Über die Ausbreitung der Elektrischen Kraft* ("Investigations on the Propagation of Electrical Energy"), Leipzig (1892). Hertz's book is considered to be one of the most important works of science: this is where he first describes his confirmation of the existence of electromagnetic waves – to confirm Maxwell's electromagnetic theory of light, published in several articles and in his *Treatise on Electricity and Magnetism* (1873). Righi confirmed and deepened Hertz's experiments and strengthened Maxwell's theory not yet accepted by the physicists of the time and hindered by Sir William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907) (even in his *Baltimore Lectures* on modern theoretical physics delivered in 1884; revised and published in 1904), previously Maxwell's teacher and friend.



Fig. 3 Righi's Bench for electromagnetic waves, 1893 (Museum of Physics). An educational and experimental device shown by Righi to his university pupils; Marconi was among them.

Attending Righi's laboratory, Marconi had the opportunity of acquainting himself with Hertz's oscillators and resonators, including those improved by Righi on short and micro-waves, and to read Righi's numerous articles on this subject (see fig. 3).

Hertz's and Righi's intentions were just to confirm Maxwell's theory. Decisive and definite proofs of Righi's interest concerning signal transmission through Hertzian waves are under research¹. More information could come through the analysis of Righi's manuscripts preserved at the Museum of Physics (Department of Physics, University of Bologna), thanks to Righi's Family Endowment.

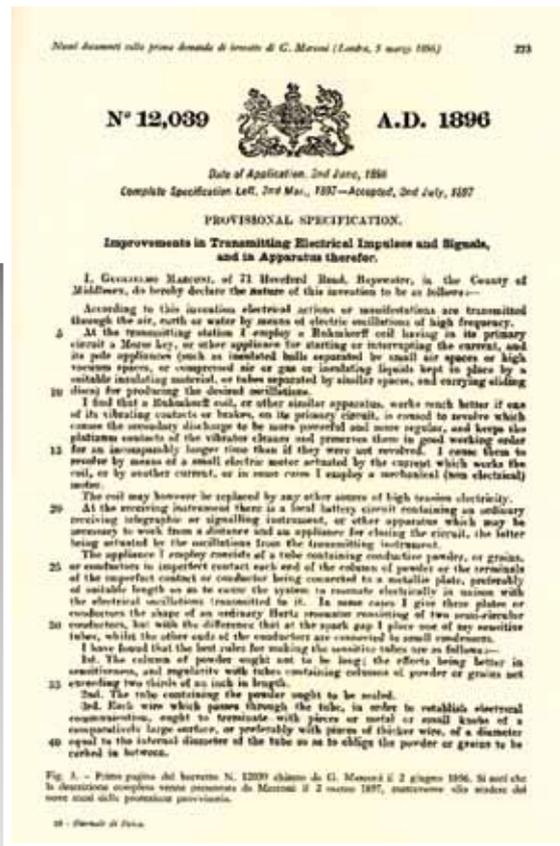
Marconi's original idea was, however, to use all this apparatus to develop a real practical and useful system of wireless telegraphy. It is the authors' opinion that Marconi, thanks to his personal, individual and peculiar style of education reached a knowledge level that no university degree could give him at that time.

4 From Marconi's first experiments on telegraphy without wires to the English and international experiments

As stated above, by the end of 1894 Marconi had a vast and profound physical knowledge of, and practical and conceptual experience, about electricity. He merely followed his interests, avoiding heavy literary and Latin studies (which would have been of no use to him). His education in this field was not simply that of a student but that of a real expert in physics, especially in the field of electricity. During the winter of 1894 Marconi devoted himself to the improvement of oscillators (as transmitters), resonators (as receivers) and every part of his system of telegraphy without wires. During the spring of 1895, following numerous experiments of smaller range, Marconi organized his demonstration to transmit signals from his scientific laboratory – the *stanza*

¹ The authors of the present article, with Giovanni Gottardi and Marina Manferrari, are going to publish a volume about Righi's scientific correspondence preserved at Accademia delle Scienze detta dei XL (Rome) under the auspices by CNR and SIF.

dei bachi (silkworms' room) in the barn of Villa Griffone at Pontecchio, a few km from Bologna – to a distance of about 1.5 km beyond Celestini's hill at the back of the family estate. Then he tried to obtain the Italian Government's interest and help, only to be told that he should just ask for a patent. So thanks to his mother's relatives in England (particularly Henry Jameson Davies, his mother's cousin and engineer) Marconi left Italy for England, where he arrived on 2 February 1896 with his apparatus. Thanks to a letter of introduction by Alan Archibald Campbell Swinton, Marconi obtained the confidence of Sir William Henry Preece, the Chief Engineer of the English Post Office in London – who, as mentioned, had previously succeeded in transmitting electromagnetic signals, although only by an inductive method; Preece helped him directly and with some of his assistants (e.g. George S. Kemp). After several demonstrations – for instance on 27 July 1896 between the roof of the London General Post Office Building at St. Martin's–Le-Grand, and the roof of a Savings Bank Agency in Queen Victoria Street (300 m of distance) – Marconi organized, with the Post Office assistance, a more difficult experiment in September 1896 on Salisbury Plain, at Stonehenge, where he had success in transmitting signals in wireless telegraphy up to fourteen km. At these demonstrations, experts of the British Army and Navy took official part as well as foreign experts kindly invited by the organizers. The newspapers gave great emphasis to these events. In the same period Marconi worked very hard to organize his patent. An application form had been submitted to the Patent Office in March 1896. The check of the existence of this request for patent was found on the review *The Electrical Engineer*, March, 13th 1896, page 308, on the schedule about "Provisional Patents, 1896" dated March, 5th with the following indication: 5028. *Improvements in Telegraphy and in Apparatus Thereof. Guglielmo Marconi, 24, Southampton-buildings, Chancery-lane, London.* This provisional patent was then withdrawn and substituted on 2nd June 1896 by the first request for a patent for wireless telegraphy based on electromagnetism to be taken out in the United Kingdom, which was approved on 2nd July 1897 with No. 12039 (see fig. 4). Its title was: *Improvements in Transmitting Electrical Impulses and Signals and in Apparatus Thereof.* On 13 July Marconi obtained the same patent for the USA (No. 609.154). To be noted on his patent are the eleven drawings illustrating his apparatus with clear evidence of aerial-antenna and earth, and, particularly, detailed information about the features of his receiver (coherer). Marconi transformed the small Hertz's dipole in an enormous one. Thanks to these and other experiments, Marconi discovered his physical law in which the height of the antenna is proportional to the square root of the distance to be covered by long electromagnetic waves.



It must be stressed that Marconi had heard about Galvani's detection of electric discharges, thanks to frogs, enhanced by the use of long metal wires as aerial and grounds, as well as of Franklin's experiments. Marconi's coherer was, in a certain way, like those above quoted of Calzecchi Onesti, Branly and of Lodge, but much more improved and reduced in scale. With his improvements Marconi's coherer became a very reliable receiver. In fact, every part of his telegraphy wireless system was improved and accurately verified in its functioning not just in the laboratory, but in the field of application, in the open air, through the sea, beyond and behind the mountains, on a larger and larger range. In May 1897 Marconi succeeded in transmitting Morse code signals across the Bristol Channel (about 15 km). In these experiments A. Slaby, a famous German scientist (who later on developed his own system of telegraphy without wires) took part as a guest. During the month of July 1897 Marconi, helped by the Italian Navy, organized several transmissions with his system between S. Bartolomeo's Arsenal at La Spezia to various places like Portovenere, Isle of Palmaria, Isle of Tino to a distance of between 5 and 7 km. Thanks to the use of the battleship *San Martino*, from the Gulf of La Spezia, it was then possible to transmit at a distance of 18 km. After his return to England, Marconi established the Wireless Signal and Telegraph Company (on 20 July 1897), then Marconi's Wireless Telegraph Ltd (in 1900). During the months of July and August 1898, Marconi transmitted several messages between the Royal Palace (*Osborne House*) on the Isle of Wight and the Royal Yacht *Osborne* to inform Queen Victoria about the health of her son, the Prince of Wales (later Edward VII). He was suffering from knee trouble following a fall. These messages were very much appreciated by the Queen (who



Fig. 4 Marconi's patent frontispiece (courtesy by www.radiomaroni.com).

Fig. 5 Marconi and his assistant Kemp working with a Morse's telegraph (courtesy by www.scientific-web.com).

was anxious about her son) and, of course, they were of great importance, in publicizing the new Company. Marconi's idea was to improve transmission distances, thanks to the use of long waves and very high antennas. He continued his experiments between the Needles rocks near the Isle of Wight, and a ship at a distance of 30 km and at Salisbury Plain between Salisbury and Bath (about 50 km). The importance of these experiments must be underlined; the transmissions were carried out under horizon line. Some experiments developed to syntonize the transmission were also carried out. It should be noted that in 1897 Lodge took out a patent (No. 11575) for the syntononic wireless telegraphy. In 1899 (27 March) Marconi succeeded in sending Morse code signals through the English Channel between South Foreland (near Dover) and Wimereux (about 5 km from Boulogne-sur-Mer). The international distance was about 50 km. The aeriels used were about 54 ms high. In the same year Marconi followed the America Cup's Regattas sending messages (about 1200) from the liner *Ponce* to inform the USA public of the challenges between the American *Columbia II* (the winner) and the English *Shamrock*. These episodes were a great commercial opportunity for a better general comprehension of the importance of wireless telegraphy for pacific uses (the military purposes were evident). The American Company for wireless telegraphy was established, according to the British Society, just at this time. There were, of course, several aspects of these early experiments to be improved. To avoid interference between several transmissions, and to obtain secret messages, Marconi developed a syntononic system (English patent of 26 April 1900, No. 7777; USA patent No. 763.772). Thanks to this patent it was possible to send signals from several stations at the same time without interference, with the use of different lengths and appropriate

induction coils. The principle was that of having the same LC product (Induction $L \times$ Capacity C) both in the primary as in the secondary circuit. With this system it was possible to obtain a partial privacy and much larger distances of transmissions out to sea (about 300 km). These experiments were very important to achieve confidence in a transatlantic transmission that it was Marconi's intention to organize in a few months' time. This patent was the source of legal protests against Marconi's Company by Lodge and Braun. Later on their patents were acquired by Marconi's Company: Lodge sold his patent and agreed to be a consultant to the Company. In 1901 Marconi organized his transatlantic transmission. Several scientists had perplexities when they heard the news of this project. It seemed to them that the electromagnetic waves, like the optical ones, ought to propagate on straight lines, following the lines-of-sight, and that it would then impossible to send messages beyond and behind large barriers like the enormous quantity of matter due to the earth curvature across the Atlantic Ocean. The curvature of the Earth – between Poldhu (Cornwall) and Signal Hill (Newfoundland) on a distance of about 3.400 km – corresponds to about 50 km. It was like an enormous mountain to be overcome by electromagnetic waves. It seemed at that time the dream of a visionary instead of a scientific and technological project. The scientists thought that Marconi did not understand physical and mathematical laws. For instance, the great mathematician Henri Poincaré (1854-1912) said that electromagnetic waves would be extinguished after a travel long no more than 300 km. Marconi had confidence in a lot of experiments he had carried out previously, even under horizon line, behind the Earth curvature. It was not of course a simple matter of intuition. Not at all. Be that as it may, Marconi organized the transmission from Poldhu in Cornwall to Signal Hill in Newfoundland. Notwithstanding a lot of difficulties – due to terrible thunderstorms, both in England and in USA and Canada at the sites of the stations, that destroyed the original very high antennas organized for transmission – he received with a kiteborne antenna (180 m wire long) the signals (three points, the letter S of Morse code) on 12 December 1901 (see fig. 5). Of course, Marconi ignored the existence of the *Kennelly-Heaviside layers* (discovered later on), but he had made several experiments of this type over a longer and longer distances. In particular, for Marconi's transatlantic project were decisive the experiments between the Tyrrhenian coasts and Isle of Caprera (Maddalena archipelago). As a matter of fact the electromagnetic waves were reflected (really refracted several times) by the ionosphere. The transmission was a success: Marconi became a household name overnight. He was just 27 years old. In the following years, Marconi had to fight against a lot of enemies such as Cable Companies and to struggle against alleged inventors claiming for the

priority of the discovery of wireless telegraphy. Among these we just mention: Lodge, Popov, Tesla. Notwithstanding this, he developed much of the technology necessary for its practical use and overcame a lot of initial deficiencies. Marconi was aware of the bad functioning of the coherer when a ship is in rolling motion due to trouble during navigation. So he introduced more reliable receivers: the magnetic detectors. The first was with rotating magnets, the second with fixed magnets. In 1902, Marconi patented his magnetic detector, perhaps inspired by E. Rutherford's articles (already quoted) on the same subject published in 1896. From the beginning of June 1902 Marconi (and his friend and collaborator Solari and their technicians) had at their disposal the Royal battle cruiser *Carlo Alberto* of the Italian Navy to carry on experiments during a journey from Naples (10 June) to Kronstadt (12 July) and back through Kiel, Portsmouth, Gibraltar, La Spezia (11 September). During these experiments it was possible to discover the negative effect of solar light on the transmission, and to have the certainty of the possibility of transmitting signals beyond high mountains of the European Continent, without negative effect on the reception of electromagnetic waves, and to make several experiments with his prototypes of magnetic detectors. Marconi was certainly helped by his skilful technicians, engineers and assistants, all of whom were electricity experts and enrolled in his Company. It was Marconi's great merit to organize a scientific *équipe* with among others: G. S. Kemp, P. W. Paget, R. N. Vyvyan, C. S. Franklin, H. J. Round and above all J. A. Fleming, Maxwell's pupil, Edison's consultant, Professor of Electrical Technology at the University College, London. Fleming was the inventor of the thermionic valve, the diode (1904) that in the following years (thanks to L. de Forest triode, 1907) became so important for radio-transmissions. Marconi organized his group well as a real research group, and largely appreciated the qualities of his collaborators, most of whom venerated him. In 1905 he developed his horizontal directional aerial to be used later especially with short waves. It must be remembered that the historical and sociological events of the period between the end of the XIX century and the beginning of the new century gave a large resonance to the political claim to transmit secret information with a total safety. The famous "Dreyfus case" (Alfred Dreyfus, 1859-1935) – celebrated by Émile Zola (1840-1902) in his *J'accuse* (1898) – in a certain way underlined the need to improve at a maximum level the most advanced equipment for transmitting electromagnetic signals. As well as the needs of the countries (in particular of the British Empire) to connect without wires several parts of their domain. Thanks to all of these facts Marconi's Company (and other companies at that time) obtained government benefits for their research and plants.

5 The years of Marconi's success

In 1905 Marconi married in London Beatrice O'Brien, daughter of Lord Inchiquin, descendant of the Kings of Ireland from the XVI century. In the same period, Marconi introduced his multiple-spark generator (1904) and his rotating disc discharger (1905) to avoid Rumkorff's induction coils and Hertz's and Righi's oscillators, which with their high resistances were the cause of waves attenuation. In 1909 Marconi was awarded the Nobel Prize for Physics. In that occasion he declared: "I did, however, attend one course of lectures on physics under the late Professor Rosa at Livorno, and I was, I think I might say, fairly well acquainted with the publications of that time dealing with scientific subjects including the works of Hertz, Branly, and Righi" (G. Marconi, *"Wireless Telegraphic Communication"*, Nobel Lecture, December 11 (1909)). He shared the award with Karl Ferdinand Braun (1850-1918), who introduced his cathode-ray oscilloscope in physics and technology and in the field of wireless telegraphy understood the limits in the wave transmissions of the use of Hertz's oscillator, due to the sparks. Braun proposed a transmitting system without sparks. In October 1911 the Italian war against the Turkish Empire began and Marconi, as civil consultant, helped the Italian Army and Navy, with his radio devices, to connect naval forces with land forces. He developed transportable radio sets, organizing trench stations, with aeroplanes transmitting systems. In November 1911, Marconi with Solari's help inaugurated a powerful Italian radiotelegraphic station at Coltano (near Pisa) on the Royal estate of San Rossore, to be connected for use in time of war with those in Tobruk and in Derna. In 1912, Marconi developed his timed spark system to produce and generate continuous waves to be modulated for the transmission of signals. In this same year, Marconi was considered a benefactor to humanity thanks to the S.O.S. rescue of about 700 of the 2300 people in the Titanic shipwreck of 15 April 1912. Following this success, the Marconi scandal exploded. It began with some rumours about certain help obtained by Marconi's Company from ministers of the English Government, who were owners of shares in Marconi's Company. The newspapers suggested that in this way ministers could have an economic interest in helping the Company obtain the passing of the bill for the British Imperial Wireless Network. The government of Herbert Henry Asquith (1852-1928) almost toppled. Marconi had some trouble about it, but in the end he suffered no consequences and nothing came of it. As a recognition of his merits Marconi was knighted Sir by King George V. Between 1913 and 1914 Marconi studied the new thermionic valves as transmitters, with great appreciation for Meissner's patent. Along this path, with a modification of Meissner's device, Marconi developed the use of electronic tubes as transmitters. In particular, since 1913,

Marconi's Company employed Marconi-Round electromagnetic transmission system with the use of an electronic tube. At the beginning of the First World War Marconi joined the Italian Army, and then he was moved to the Italian Navy. During that period he introduced short-waves beam systems for war uses to obtain secret messages, thus saving energy for long-distance transmissions. He designed more advanced radio-range beacons, ground radio beacons and radiogoniometers. These researches continued in peacetime and produced results which helped to transform and enhance long-distance wireless communications. Marconi had the courage to turn upside down his own line of research and to develop short-waves (wavelength 100 m–1 m) technology to improve the reliability of communications, about 20 years later the experiments at that time developed with high antennas and very expensive and enormous radio-stations. In this case he was helped by his interest in information from *amateurs* about the discovery of short waves efficiency in transmitting signals. According to this, we have the pleasure to remember the original and innovative role about short waves played by Adriano Ducati (later Cavaliere Ducati). Some years later in 1928 Marconi admitted in Rome: "I made a mistake. I worked with long waves ..., but now we must work with short waves". As usual his Company and the other technicians followed him.

After the War he continued with his short wave experiments. He was helped by an outstanding new laboratory that he acquired in February 1919. Namely, the purchase of the steam-yacht *Rowenska* previously owned by the Archiduchess Maria Teresa of Austria. Marconi called it *Elettra* and it became his home, laboratory and mobile receiving station. A famous Italian poet, Gabriele D'Annunzio (1863-1938), called the yacht "*la candida nave che naviga nel miracolo e anima i silenzi aerei*" ("the snow-white ship sailing through miracles and giving life to aerial silences"). In April 1919 Marconi was appointed by the Italian Government plenipotentiary delegate to the Paris Conference, where the Treaty of Versailles was signed. From the beginning of 1920, after several experimental trials, he began broadcasting transmissions from *Elettra* in the Atlantic Ocean, about 30 miles from Lisboa to Monsanto (near Lisboa), where Solari was listening thanks to a loudspeaker connected with the receiver. In June 1922, in a speech given at the Institute of Radio Engineers in New York City, he talked about the capability of electromagnetic waves to be reflected by conductive bodies; in this way he predicted the possibility of having information about other ships or objects along the route even when the optical visibility was absent. It was the nucleus of radar detective system. In 1923 his wife asked for a divorce. A few years later, he was married again to Maria Cristina Bezzi Scali, a young Countess from a family of ancient nobility, related

to the famous Orsini and Barberini Italian families (1927). In the same year he established the worldwide radio-telegraph network on behalf of the British Government throughout the British Empire and he became President Founder of CNR (National Research Council) for Italy. He received many distinctions, recognitions and degrees *honoris causa* from all over the world. Among others, in 1914 he was appointed senator of the Kingdom of Italy and he obtained an Italian Marquisate in 1929. The year after he became President of the prestigious Scientific Academy of Italy. The political regime of that time used Marconi's well known fame all over the world as a symbol of fascist Italy. Marconi was the great propagandist of his discoveries thanks to his famous international experiments. In other words he had a great theatrical sense which he used on several occasions. It must not be forgotten that he loved music, and that his mother studied singing in Bologna. Great inventors and scientists of that time influenced without doubts Marconi's style of life. In particular, William Thomson (Lord Kelvin) used, since 1870, his *Lalla Rookh* yacht as a scientific laboratory rather than only for his spare time.

6 The last experiments open to the future

During the last few years of his life Marconi was involved in several important experiments concerning microwaves. We must remember the experiment officially demonstrated on 30 July 1934 between S. Margherita Ligure and Sestri Levante in which he developed the radio-beam microwaves (60 cm) technique to drive a ship blind: without a compass, without any visibility from outside, with just an instrument to detect the silence zone produced by microwaves interference. Even more important for war consequences were his further experiments about object reflection (predicted since 1922). According to a technician of his, A. Landini, Marconi was carrying out experiments at Torre Chiaruccia near Civitavecchia trying to detect the movements of his car with 50 cm microwaves. It was the beginning of radar detection technology. We must agree with Edison's famous general quotation: "Genius: 1% inspiration, 99% transpiration", addressing to Marconi and his entire life devoted to research in this celebrated sentence. Many fantastic discoveries were attributed to Marconi. Some of them were, of course, just journalistic fantasy, like "death-rays" and others. It is true, anyway, that he had been working for years about the possibility of extracting gold from sea water, or transmitting electrical energy to a distance, or improving the growth of harvest and eliminating bacteria by means of electromagnetic waves. He also was interested in applying microwaves to TV transmissions. On 20 July 1937 following a series of heart attacks, due to a form of *angina pectoris*, that he had suffered for the last few years, Marconi died, aged 63, in Rome, Italy.

7 Some considerations as a conclusion

As a conclusive consideration, we would like to use two quotations. The first by Augusto Righi, the second one by Quirino Majorana. In 1903 Augusto Righi said: "The indisputable merit [of Guglielmo Marconi is] to have taken a bold initiative, where others had made only timid proposals, and to have transported to the practice field what others had only looked through and realized in a smaller scale. But his ability and inventive faculties were fully proved later, through the capability with which he won numerous difficulties, and through many modifications and additions of detail, in large part essential for the practice success, which were joined by him in that ensemble that can rightly be called the Marconi System."

Q. Majorana was an experimental physicist, Professor of Physics at Bologna University, Righi's successor and one of the first scientists to transmit the voice in wireless telegraphy, without carrier wave and tubes (1903). His quotation of 1932 was the following: "Guglielmo Marconi was not satisfied with his first success, which would alone have been sufficient to assure him a lasting celebrity. He was always in the vanguard of the various improvements that in the meanwhile were introduced in the outstanding system carried out by him. This is true about syntonic problem, long-distance transmissions, directional transmissions, radiogoniometry, beam-system signalling and, more recently, about short waves and microwaves".

We think it is difficult to express more appropriate, clear and precise words than those above quoted. In our opinion Marconi was an authentic experimental scientist in the true sense of the word, meaning a man who was able really to improve science and technology; and, for all his life, he was able to make outstanding improvements in the field of electromagnetic waves. It was a life in which he had a complete confidence in the experimental method. He had an experimental laboratory the entire world, often struggling against official science opinions. In this continuous capability lies the great difference between him and the numerous other pretenders to the wireless telegraphy invention.

Acknowledgements

The authors wish to express their thanks to Professors Silvio Bergia, Sergio Focardi and Attilio Forino of the Department of Physics (Bologna University) for their kind suggestions and advices. Our best thanks to Righi's and General P. Poli's Family for the Endowments, concerning Righi and Marconi documents, to the Museum of Physics (Bologna University). Moreover, we express our gratitude to Mrs Hazel Juvenal Smith for helping us with the English translation of the text. Last but not least our special thanks to SIF Editorial Staff, in particular to Dr. Angela Oleandri.

Bibliography

Primary sources

- D. Hughes, *Proceedings of the Royal Society*, May 8, 1878;
 T. Calzecchi Onesti, "Sulla conduttività elettrica delle limature metalliche", *Il Nuovo Cimento*, 16 (1884) 58; 17 (1885) 38;
 T. Calzecchi Onesti, "Di una nuova forma che può darsi all'avvisatore microsismico", *Il Nuovo Cimento*, 19 (1886) 24;
 E. Branly, "La lumière électrique", *J. Universel d'électricité* 13 (1886);
 H. Hertz, *Annalen der Physik*, Vol. 270, no. 5, (March, 1888); Vol. 270, no. 7 (May, 1888) 551;
 E. Branly, "Variations de conductibilité sous diverses influences électriques", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, CXII (1890) 785;
 E. Branly, "Variations de conductibilité sous diverses influences électriques", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 12 Jan. CXIII (1891) 90;
 E. Branly, "Recherches sur les variations de conductibilité de certaines substances sous diverses influences électriques", *Société française de physique* (1891);
 W. Crookes, "On Some Possibility of Electricity", *London Fortnightly Rev.* (Feb. 1, 1892) 174;
 H. Hertz, "Untersuchungen Über die Ausbreitung der Elektrischen Kraft", *Investigations on the Propagation of Electrical Energy*, (Leipzig) 1892;
 N. Tesla, "Experiments with Alternating Currents of High Potential and High Frequency" in *J. of the Institution of Electrical Engineers*, 97 (1892) 51;
 H. Hertz, "Electric Waves, being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity Through Space", English translation by D. E. Jones (MacMillan, London) 1893;
 A. Righi, "Su alcune disposizioni sperimentali per la dimostrazione e lo studio delle ondulazioni elettriche di Hertz", *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei* (30 April, 1893) 333;
 O. Lodge, "The Work of Hertz and Some of His Successors" (1894);
 J. C. Bose, "On a New Electro-Polariscope", *The Electrician*, 36 (December 1895);
 E. Branly, "Sur la conductibilité des substances conductrices discontinues", *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, CXIX (1895);
 E. Rutherford, "A Magnetic Detector of Electrical Waves and Some of its Applications", *Proc. R. Soc.*, 60 (1896) 184;
 A. Righi, "Lottica delle oscillazioni elettriche" (Zanichelli, Bologna) 1897;
 J. C. Bose, "On a Self Recovering Coherer and Study of Cohering Action of Different Materials", *Royal Society of London*, April 27 (1899);
 J. J. Fahie, "A History of Wireless Telegraphy", 2nd ed., revised (1899) 289;
 G. Marconi, "Wireless Telegraphic Communication", *Nobel Lecture*, December 11 (1909).

Secondary sources

- "Marchese (The) Marconi", *Nature*, 140 (1937);
 O. E. Dunlap, "Marconi, the Man and His Wireless" (MacMillan, New York) 1937;
 E. Barnouw, "A Tower in Babel: a History of Broadcasting in the United States to 1933" (Oxford University Press, Oxford) 1966;
 D. E. Ravalico, "Marconi Giovane" (La Scuola Editrice, Brescia) 1966;
 W. J. Baker, "A History of the Marconi Company" (Methuen & Co Ltd, London) 1970;
 A. Righi, "I rapporti fra Marconi e Righi", *Ingegneri, architetti, costruttori*, 25 (1970);
 W. P. Jolly, "Marconi a Biography" (Constable, London) 1972;
 AA.VV., *Giornale di Fisica*, 4 (1974);
 A. Colombini, "La vita di Guglielmo Marconi" (Giunti, Bemporad-Marzocco, Firenze) 1974;
 G. Di Benedetto (Editor), "Bibliografia Marconiana" (Giunti - G. Barbera, Firenze) 1974;
 K. Geddes, "Guglielmo Marconi 1874-1937" (Science Museum Booklet, London) 1974;
 G. Tabarroni, R. De Benedetti, G. Masini, "Marconi cento anni dalla nascita" (ERI Edizioni Rai Radiotelevisione Italiana, Torino) 1974;
 AA.VV., "Radiocomunicazioni a grande e a grandissima distanza", in *Celebrazione Nazionale del Centenario della Nascita di Guglielmo Marconi, Atti dei Convegni Lincei*, 24, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma (1976);
 P. Poli, "Conosciamo veramente Guglielmo Marconi?" (Ponte Nuovo Editrice, Bologna) 1979;
 P. Poli, "L'opera tecnico-scientifica di Guglielmo Marconi" (C&C ed. Radioelettroniche, Faenza) 1985;
 D. Marconi Paresce, "Marconi mio padre" (Frassinelli, Milano) 1993.
 B. Cavalieri Ducati, "Guglielmo Marconi. La Vita e l'ultima visita a Bologna nel 1934" (Editografica, Bologna) 1995;
 G. Dragoni, "L'indagine sperimentale del mondo fisico", in *Cento anni di Radio. Le radici dell'invenzione*, edited by A. Guagnini e G. Pancaldi (Seat, Torino) 1995;
 M. C. Marconi, "Mio marito Guglielmo" (Rizzoli, Milano) 1995;
 G. Pancaldi (Editor), "Radio. Da Marconi alla musica delle stelle; Radio. From Marconi to the music of the universe" (GrafiS, Bologna) 1995;
 G. Paoloni, E. Monteleone, M. G. Ianniello et al. (Editors), "Cento anni di radio, da Marconi al futuro delle telecomunicazioni" (Marsilio, Venezia) 1995;
 C. Susskind, "Heinrich Hertz: a Short Life" (San Francisco, San Francisco Press) 1995;
 G. Dragoni, "Guglielmo Marconi", in *Oxford Dictionary of National Biography* (Oxford University Press, Oxford) 2004.

Giorgio Dragoni

Graduated in Physics at the Bologna University in 1971. Associated professor (1980), then full professor (2008) for History of Physics at the same University. President of the National Research Group for History of Physics (1988-1995) and Member of the Committee for Scientific Culture under the Minister A. Ruberti (1990-1995). He published about 100 articles on national and international journals and several books about Hellenistic Science, Galvani's experiments, Fermi's research group, Marconi's, Righi's and Maxwell's works. He edited with S. Bergia and G. Gottardi the "Dizionario Biografico degli Scienziati e dei Tecnici" for Zanichelli publisher (Bologna, 1999). More recently he edited the "Ettore e Quirino Majorana, tra Fisica Teorica e Sperimentale" (CNR & SIF, Bologna 2008).

Martina Lodi

Born 1983 in Ferrara. Degree in Political Sciences at the University of Bologna (2005). Collaborator at the Museum of Physics (University Museum System and Department of Physics) Bologna University. She catalogued the historical materials of several endowments received by the Museum, like Majorana and Righi Families Endowments. Other fields in which she is involved are: organization of the Library and Archive of the Museum; teaching activities with students from primary to high schools, collaboration to the publication "Ettore e Quirino Majorana, tra Fisica Teorica e Sperimentale" (CNR & SIF, Bologna 2008), where she edited the study about the epistolary between the two famous scientists, co-author of several articles about history of physics.



SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA
XCV
CONGRESSO NAZIONALE



Bari 28 settembre - 3 ottobre 2009

Sede del Congresso:
Dipartimento Interateneo di Fisica di Bari

PROGRAMMA GENERALE

Lunedì 28 Settembre

- 9:00–11:00 Cerimonia di Inaugurazione, Relazione del Presidente, Premiazioni:
– Medaglia d’Oro della SIF alla memoria di G.-F. Bassani
– Medaglie ai Soci Benemeriti della SIF
– Premi per le Migliori Comunicazioni al Congresso Nazionale di Genova 2008
– Premi per giovani laureati in Fisica dopo il maggio 2002 e dopo il maggio 2006
– Premio “Ettore Pancini”
– Premio “Sergio Panizza”
– Borsa “Antonio Stanghellini”
– Premio per la Didattica o Storia della Fisica
– Premio “Giuseppe (Beppo) Occhialini”
– Premio “Enrico Fermi”
- 11:00–12:00 Relazione Generale:
G. ’T HOOFT (Utrecht, The Netherlands): *Mini black holes and quantum physics.*
- 12:00–13:00 Relazione Generale:
F. PARESCE MARCONI (Bologna): *Da Poldhu a Voyager e Hubble: la fisica spaziale nel centesimo anniversario del Premio Nobel a Guglielmo Marconi.*
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione I (Fisica nucleare e subnucleare):
S. BERTOLUCCI (Geneva, Switzerland): *The CERN Large Hadron Collider: status and outlook.*
- 16:00–19:30 Relazioni su Invito e Comunicazioni

Martedì 29 Settembre

- 9:00–12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 12:00–13:00 Relazione Generale Sezione IVb (Biofisica e fisica medica):
E. DI FABRIZIO (Basovizza, TS): *Nanophysics and nanotechnology for biology and medicine.*
- 14:00–15:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
M.G.A. PARIS (Milano): *Quantum estimation of states and operations for quantum technology.*
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione Va (Fisica applicata):
G. GIGLI (Lecce): *Molecular/hybrid micro-nanotechnologies for photonic applications.*
- 14:00 18:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 18:00–19:30 Assemblea Generale dei Soci
Ordine del giorno:
1) Approvazione ordine del giorno.
2) Approvazione del Verbale dell’Assemblea Generale dei Soci del 23 Settembre 2008 (disponibile in download nell’Area Soci del sito <http://www.sif.it/>)
3) Relazione del Presidente.
4) Relazioni del Collegio dei Revisori dei Conti e approvazione dei bilanci.
5) Nomina dei Revisori dei Conti.
6) Discussione e approvazione della Relazione del Presidente.
7) Progetto “L’Energia nella Scuola” (*Relazione di E. De Sanctis*).
8) Attività AIF-SIF (*Relazione di S. Sgrignoli*).
9) Settori Scientifico-Disciplinari (*Relazione di P. Rossi*).
10) Varie ed eventuali.

Mercoledì 30 Settembre

- 9:00–12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 12:00–13:00 Relazione Generale Sezione Vb (Fisica per i beni culturali):
P.A. MANDÒ (Firenze): *Acceleratori di particelle per i beni culturali: sempre attuali?*
- 14:00–15:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
G.M. CACIUFFO (Karlsruhe, Germany): *High-temperature heavy-fermion superconductivity in 5f-electron systems.*
- 15:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 20:30 Cena Sociale

Giovedì 1 Ottobre

- 9:00–12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 12:00–13:00 Relazione Generale Sezione IVa (Geofisica e fisica dell'ambiente):
M.O. ANDREAE (Mainz, Germany): *Aerosol-cloud-precipitation interactions in the climate system.*
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione III (Astrofisica e fisica cosmica):
A. MASIERO (Padova): *L'Universo invisibile: il problema della materia ed energia oscura.*
- 16:00–17:00 Relazione Generale:
F.-L. NAVARRIA (Bologna): *20 anni di World Wide Web.*
- 17:00–19:30 Tavola Rotonda: *La Fisica per l'Ambiente*
- Moderatore: L. CIFARELLI (Presidente della Società Italiana di Fisica)
- Interventi di:
- V. ARTALE (ENEA, Roma):
Variabilità climatica del Mediterraneo e scenari futuri.
 - P. DE NATALE (Direttore INOA-CNR, Firenze):
Tecnologie ottiche avanzate per una nuova metrologia ambientale.
 - G. PARISI (Università di Roma Sapienza):
L'importanza concettuale della fisica nella difesa dell'ambiente.
 - M. RICCO (Vice Presidente del Distretto Tecnologico Pugliese sulla Meccatronica, Bari):
Tecnologie fisiche innovative per i motori a combustione.
 - F. TAMPIERI (ISAC-CNR, Bologna):
"Chemical weather": problemi e previsioni.
 - R. VITTORI (Aeronautica Militare):
Problemi dalla Terra e soluzioni dallo Spazio.
 - N. VENDOLA (Presidente della Regione Puglia):
Politica e scienza insieme per la difesa dell'ambiente.

Le attività umane dell'era moderna non possono non alterare l'ambiente nel quale si svolgono. Tanti sono oggi i problemi che ne derivano e di vasta portata. Le risorse prelevate dall'ambiente, come il petrolio, non sono rinnovabili e alcune, alla lunga, potrebbero esaurirsi. Le immissioni di rifiuti o comunque di prodotti delle attività umane, in forma solida, liquida o gassosa, possono risultare dannose all'ambiente se non opportunamente controllate. Nell'opinione pubblica esistono timori diffusi non sempre giustificati o comprovati da elementi scientifici. La fisica può di certo contribuire a trovare soluzioni sia direttamente (con la misura di grandezze fisiche, con il monitoraggio di parametri, con lo sviluppo di modelli e, in generale, con l'applicazione corretta del metodo scientifico) sia tramite le sue applicazioni tecnologiche. Alla Tavola Rotonda parteciperanno scienziati e tecnici che focalizzeranno la discussione dal punto di vista scientifico e tecnologico su alcuni temi selezionati in questo panorama così ampio e complesso. Le aspettative della società verranno introdotte dalla visione politica del Presidente della Regione Puglia.

Venerdì 2 Ottobre

- 9:00–13:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 15:00 16:00 Relazione Generale Sezione VI (Fisica generale, didattica e storia della fisica):
J. RENN (Berlin, Germany): *The genesis of wave mechanics.*
- 16:00 17:00 Relazione Generale Sezione I (Fisica nucleare e subnucleare):
P. GIUBELLINO (Torino): *Stato e prospettive della fisica con fasci nucleari ultrarelativistici.*
- 17:00–18:30 Conferenza Cittadina
L. GUERRIERO (Bari): *Vista dallo spazio: la Terra tra i pianeti del Sole.*
- 18:30–19:00 Cerimonia di Chiusura e Proclamazione delle Migliori Comunicazioni

Sabato 3 Ottobre

- 9:00 18:00 Gita Sociale ad Alberobello, Grotte di Castellana, Ostuni

QUANDO LA TERRA TREMA

ALESSANDRO BETTINI¹, EUGENIO COCCIA²

¹ Dipartimento di Fisica, Università di Padova, e INFN, Padova, Italia
Laboratorio Subterraneo de Canfranc, Canfranc (Huesca), Spagna

² Università di Roma-Tor Vergata e Laboratori Nazionali del Gran Sasso INFN, Assergi (AQ), Italia

Gli esperimenti nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN non hanno subito danni dal violento terremoto di aprile grazie anche alle rigorose procedure di sicurezza sismica che erano state poste in essere nei Laboratori.

1 I LNGS e la geologia

I complessi apparati sperimentali alloggiati nelle sale sotterranee dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) sono rimasti illesi dal violento terremoto che ha colpito L'Aquila e le zone limitrofe il 6 aprile 2009 e i giorni successivi. Questo è dovuto certamente all'insieme di procedure di sicurezza, anche sismica, che erano state poste in essere nei Laboratori, sia pure considerando che, fortunatamente, nel sito del laboratorio, pur vicinissimo all'epicentro, le accelerazioni del suolo sono state minori rispetto a L'Aquila e alle altre località che più hanno sofferto.

I laboratori scientifici, soprattutto se di grandi dimensioni, ospitano strutture ed attività che debbono essere analizzate a priori (analisi di pericolo e di rischio) e attentamente controllate nel loro svolgersi al fine di evitare danni alle persone, all'ambiente e ai beni. Le leggi e le norme che regolano le attività e le costruzioni debbono ovviamente

essere rispettate, ma possono non prevedere situazioni così inusuali come quelle presenti presso un grande laboratorio di ricerca. È quindi responsabilità delle direzioni dei laboratori fissare normative aggiuntive. Anche se queste non sono sempre accettate facilmente.

Le normative specifiche furono definite dai LNGS tenendo in considerazione i seguenti fatti:

I LNGS si trovano in zona sismica. Anche se non è possibile prevedere quando e dove un terremoto si verificherà, è possibile valutare il rischio sismico, cioè, semplificando, la probabilità che un sisma di una certa magnitudo avvenga in un determinato sito entro un determinato numero di anni (tempo di ritorno). L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) produce ed aggiorna in base ai dati storici e ad altri elementi scientifici la mappa del rischio sismico dell'Italia. La zona de L'Aquila è stata colpita in tempi storici da terremoti che hanno creato danni [1]. I più forti sono quelli del 9 settembre 1349, di magnitudo stimata

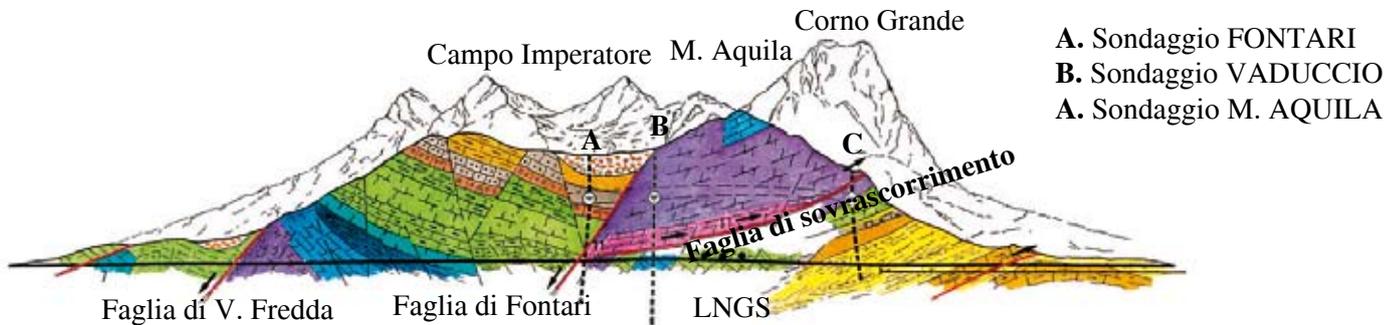


Fig. 1 Sezione del Gran Sasso di P. G. Catalano. I colori indicano diverse tipologie geologiche. Indicati i tre sondaggi profondi effettuati per lo studio del percorso autostradale e le tre faglie principali.

$M_e=6,5$ e del 2 febbraio 1703 ($M_e=6,7$). Ma l'area fu interessata da diversi altri eventi, nel 1461 ($M_e=6,4$), nel 1762 ($M_e=5,9$), nel 1916 ($M_e=5,2$) e nel 1958 ($M_e=5,2$). Il rischio sismico a L'Aquila e zone limitrofe è quindi elevato.

1. I LNGS si trovano, in particolare, all'interno del massiccio del Gran Sasso, vicini ai tunnel autostradali. Rilievi e sondaggi eseguiti in occasione dello scavo dell'autostrada e del laboratorio hanno permesso di conoscere nei dettagli la struttura geologica della montagna, in corrispondenza delle opere, come mostrato schematicamente in fig. 1. Il massiccio è percorso da numerose fratture di diversa rilevanza. Particolarmente importanti sono tre grandi faglie, mostrate in figura, delle quali due subverticali (di Valle Fredda e di Fontari) a qualche chilometro di distanza dai LNGS ed una, obliqua, la faglia di scorrimento, vicina ai laboratori. Si è quindi in presenza di potenziali sorgenti sismogenetiche a brevi distanze.

2. Le cavità dei laboratori, e quelle dell'autostrada, si trovano all'interno dell'acquifero del massiccio. Ciò impone estrema cura nell'evitare che le attività possano interferirvi.
3. Le cavità dei laboratori sono vicine ai tunnel autostradali; si devono quindi evitare tutti i rischi di interferenza col traffico.

Le sale sperimentali dei LNGS, dei tunnel di servizio e dei tunnel autostradali sono mostrate schematicamente in fig. 2. La faglia di sovrascorrimento già menzionata non impegna direttamente le sale ma sfiora la parte distale di due di esse. Essa attraversa invece una struttura appositamente prevista in questa posizione sin dalle fasi progettuali, i due cateti del triangolo al vertice dei laboratori. Ciascuno di questi alloggia un interferometro di Michelson con bracci asimmetrici, uno lungo come il cateto, circa 90 m, uno ad esso perpendicolare di 0,5 m. Gli interferometri misurano ininterrottamente la distanza tra i due monumenti fissati nella roccia ai loro estremi con sensibilità strumentale

2

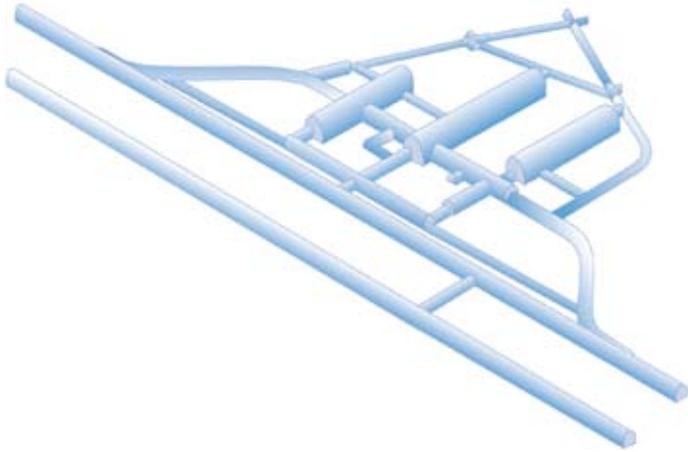
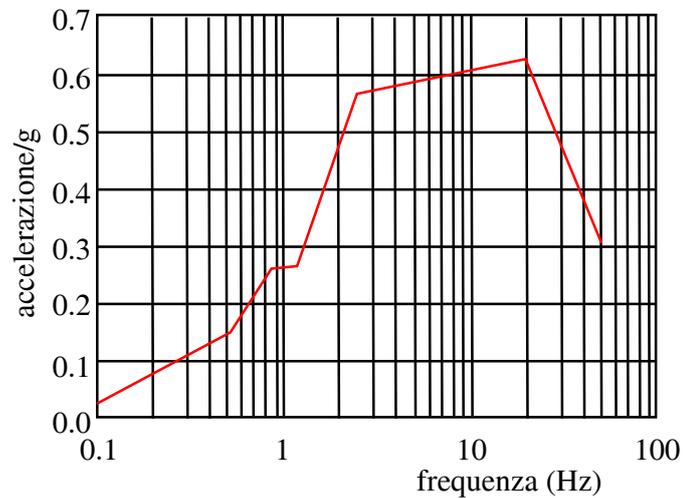


Fig. 2 Le cavità sotterranee dei LNGS, a fianco dei due tunnel autostradali. I due cateti del triangolo rettangolo ospitano gli interferometri.

Fig. 3 Lo spettro di progetto MCE.

3

INFN-LNGS-Spettro di progetto (MCE)



di 10^{-12} . L'osservatorio GIGS, come è stato battezzato, ha fornito e fornisce sia rilevanti risultati scientifici, sia elementi preziosi per monitorare la stabilità delle cavità [2, 3]. Più in generale, l'ambiente sotterraneo dei LNGS può fornire opportunità uniche a studi di geodinamica, sismologia e idrodinamica. Sin dai primi anni le acque sotterranee, prelevate direttamente dall'interno della roccia, evitando contatto con l'atmosfera, vengono monitorate con misure multi-parametriche (temperatura, conducibilità elettrica, pH, attività del ^{222}Rn). L'attività si è evoluta nel tempo raggiungendo, dal 1996 con l'esperimento ERMES un elevato grado di automazione e precisione [4–6]. Va ricordata in proposito la presenza presso i LNGS del Consorzio di Ricerca del Gran Sasso, operante in stretta collaborazione con il laboratorio, costituito con legge dal Parlamento nel 1990. Il Consorzio provvede, in particolare, alla realizzazione di programmi sperimentali riguardanti l'approntamento di reti di rilevamento e controllo ambientale nella regione del Gran Sasso per lo studio dei fenomeni geofisici, interni ed esterni, delle acque sotterranee e delle risorse idrogeologiche nonché delle trasformazioni dell'ambiente naturale. Di particolare rilevanza per la discussione

di questa nota sono le reti di monitoraggio sismico a scala regionale con siti di misura sia in superficie sia nei laboratori sotterranei. Tali attività iniziate negli anni 1990 si sono evolute e potenziate nel tempo, fornendo importanti risultati scientifici [7], con contributi iniziali dell'allora Servizio Sismico Nazionale, del Consorzio, dell'INGV e dell'Università di L'Aquila e attualmente dell'INGV e dell'Università di Salerno. L'attuale configurazione a maglia stretta è denominata UNDERSEIS ed è descritta, ad esempio, in [8, 9]. Non è negli scopi di questa nota ricordare i risultati scientifici di questo insieme di osservatori geodinamici. Interessa invece sottolinearne l'importanza per la gestione della sicurezza dei laboratori. Infatti gli effetti di un sisma su di una struttura, naturale o fatta dall'uomo, dipendono dalle accelerazioni e dagli spostamenti del suolo, o, meglio, dai loro spettri in frequenza. Queste funzioni non dipendono solo dalla magnitudo del sisma, che valuta l'energia rilasciata, ma anche dalla struttura geologica del sito. La costituzione degli strati superficiali e sub-superficiali, può attenuare o amplificare, per esempio nel caso di strati alluvionali, l'accelerazione in certi intervalli di frequenza, come ad esempio studiato a L'Aquila da De Luca *et al.* [10].

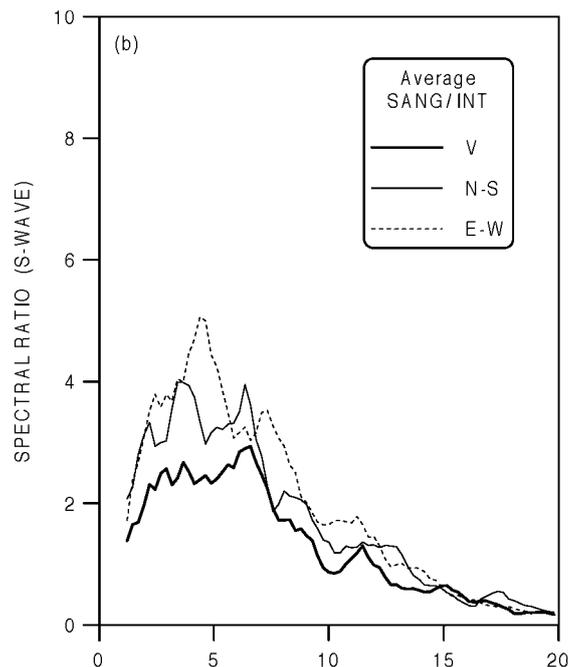


Fig. 4 Rapporti tra spettri mediati nel tempo e sulle stazioni disponibili in superficie e in sotterraneo per eventi sismici a distanze minori di 50 km [12].

Nel definire il sisma di progetto nei laboratori sotterranei è quindi necessario tener conto di possibili riduzioni o amplificazioni, dipendenti dalla frequenza, dovute alle particolari condizioni all'interno del massiccio roccioso. A questo scopo fu utilizzata la rete di sismografi menzionata [7].

2 La normativa sismica dei LNGS

Come ricordato, la situazione ambientale singolare e le caratteristiche particolari degli apparati sperimentali richiedono di definire condizioni progettuali in certi casi più restrittive di quelle richieste dalla normativa vigente [11]. Questa infatti viene elaborata soprattutto per gli edifici, che hanno caratteristiche diverse dagli apparati sperimentali. Nel 1993 furono analizzate dettagliatamente le procedure in atto per l'attenuazione del rischio sismico presso il laboratorio SLAC di Stanford che si trova in zona di alta sismicità, nei pressi della faglia di S. Andrea in California. Inoltre, la direzione dei LNGS commissionò a diversi esperti studi di rischio sismico al fine di definire un terremoto di sito.

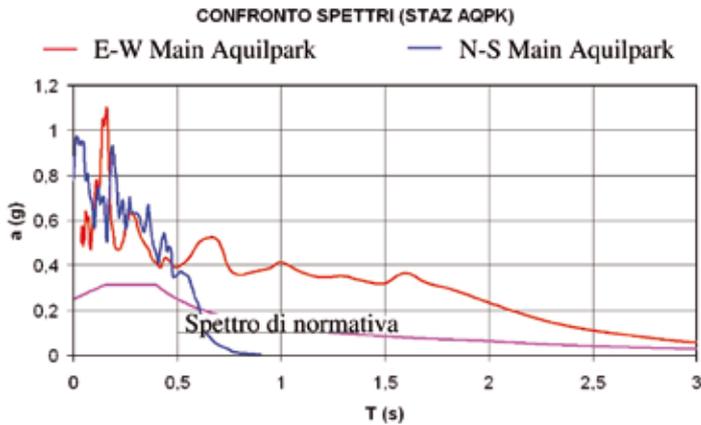
Gli spettri di progetto così elaborati risultarono notevolmente simili tra loro e si scelse di adottarne l'involuppo in modo da avere l'ipotesi

più pessimista a tutte le frequenze. Il risultato è in fig. 3 ed è valido per ciascuna componente dell'accelerazione sia quelle orizzontali sia quella verticale.

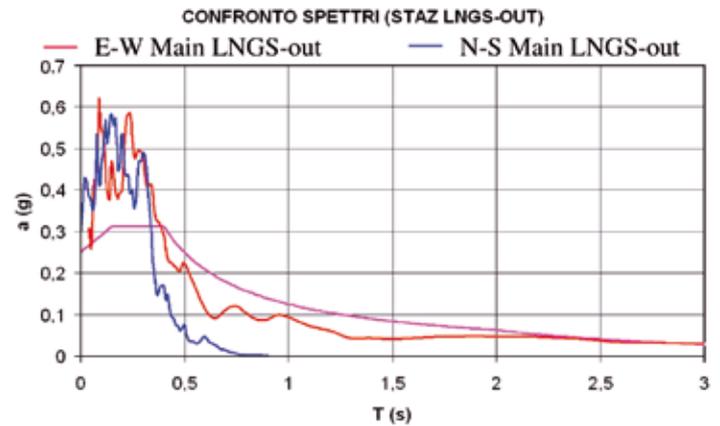
Osserviamo in proposito che sulla mappa del rischio sismico in Italia dell'INGV, L'Aquila e un'area attorno ad essa era riportata, all'epoca, con rischio di sisma di livello MCS XI, mentre ad Assergi il livello scendeva a IX. Nonostante questo si preferì assegnare prudentemente al sito del laboratorio il più elevato livello de L'Aquila anche in considerazione della presenza già ricordata nel massiccio stesso del Gran Sasso di possibili sorgenti sismogenetiche.

Un ulteriore elemento fu lo studio di sito di De Luca *et al.* [12] basato sui dati della rete sismica sopra menzionata, relativi a sismi di modesta magnitudo, che sono frequenti nella regione. Confrontando gli spettri di accelerazione del suolo in sotterraneo ed in superficie si ottengono le curve mostrate in fig. 4. Come si vede a frequenze intermedie, tra 2 e 7 Hz, l'ampiezza delle oscillazioni orizzontali è circa 4 volte più piccola in sotterraneo che in superficie, per avvicinarsi a basse e alte frequenze. Si definirono due sismi di riferimento sulla base delle diverse pericolosità degli apparati [13].

5



6



Gli esperimenti che, se danneggiati da un sisma, possono provocare danni alle persone o all'ambiente, ad esempio se contengono idrocarburi liquidi o liquidi criogenici, debbono "resistere" al *Maximum Credible Earthquake*, MCE (fig. 3), corrispondente al massimo terremoto potenziale valutato sulla base non solo dell'evidenza storica (che si estende per qualche secolo) ma anche di quella paleosismica (che si estende su millenni). Nel definirlo si tenne conto delle differenze tra la situazione in superficie libera e in sottoterraneo, senza peraltro assumere direttamente i rapporti misurati a basse intensità, perché non si ritenne prudente ipotizzare una risposta completamente lineare del sistema, anche ad alte intensità. Gli esperimenti che non possono provocare danni devono essere progettati con un sisma di esercizio, chiamato OBE (*Operative Base Earthquake*), definito in base al massimo terremoto storicamente osservato e rispettando comunque il sisma di normativa generale. Entrambi gli spettri sono definiti al 5% di smorzamento.

Per fissare completamente le regole di progettazione ed esecuzione è anche necessario definire cosa s'intenda per resistenza di una struttura. Nel caso usuale che si tratti di una struttura di acciaio, ad esempio, bisogna definire se si richiede che il suo stato limite sia ancora in regime elastico o se invece si ammette una minima deformazione plastica, che non sia però tale da compromettere la tenuta nel caso siano in gioco liquidi. L'utilizzazione di assorbitori sismici può anche essere utile in caso di situazioni specifiche,

come per l'esperimento ICARUS. Le regole furono definite con l'ausilio di esperti, quali lo Studio Finzi di Milano, sempre ovviamente nel rispetto della normativa sia Italiana sia Europea e del loro evolversi nel tempo [11].

Gli esperimenti proposti ai LNGS debbono essere sottoposti, prima dell'approvazione finale, all'analisi di rischio, che include, in particolare, quello sismico. L'analisi, nelle sue varie fasi, viene assistita dal Servizio Prevenzione e Protezione dei Laboratori. Opportuni codici di calcolo permettono di predire il comportamento della struttura in progetto sollecitata dal sisma di riferimento. Una volta stabiliti i criteri, i LNGS providero anche ad analizzare gli esperimenti esistenti e a portarli entro la normativa interna quando necessario.

3 Gli eventi di aprile 2009

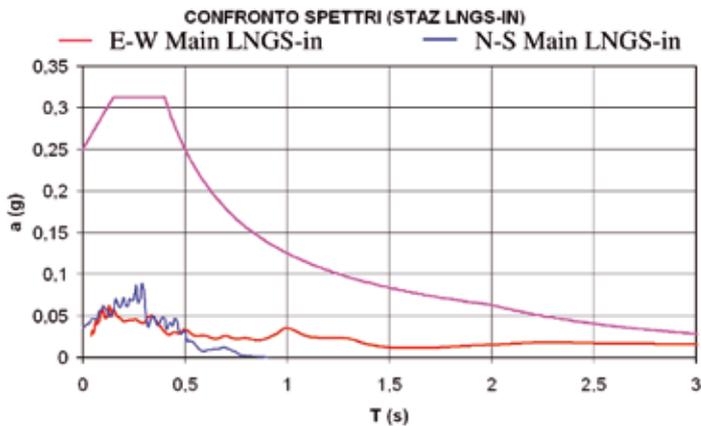
Il 6 aprile 2009, alle 3.32 ora locale, si verificò nell'Aquilano un sisma di forte intensità, di magnitudo locale $M_l = 5,8$ e magnitudo di momento $M_w = 6,3^1$ ("main shock" nel seguito).

¹ Dal sito INGV http://cnt.rm.ingv.it/~earthquake/data_id/2206496920/event.php. La "magnitudo Richter o locale" M_l è calcolata sull'ampiezza massima della registrazione sismica di un sismografo standard (a corto periodo). La "magnitudo di momento" viene determinata attraverso un trattamento numerico dell'intero segnale sismico su tutte le frequenze registrate. Il momento sismico è il prodotto dell'area di rottura della faglia, dello spostamento medio lungo la faglia e del modulo di taglio della roccia all'epicentro. Esso ha quindi le dimensioni fisiche di un lavoro, da cui il pedice w .

Fig. 5 Spettro di risposta per le due componenti orizzontali dell'accelerazione misurate all'Aquila.

Fig. 6 Spettro di risposta per le due componenti orizzontali dell'accelerazione ad Assergi.

7



Altri eventi sismici precedettero e seguirono, dei quali il più intenso il 7 aprile alle 17.47 di $M_f = 5,3$. Come già ricordato, gli effetti distruttivi dipendono dall'accelerazione e dagli spostamenti del suolo. Questi, a loro volta, dipendono non solo dalla magnitudo e dalla distanza dall'epicentro, ma anche dalle caratteristiche locali del suolo, in maniera non completamente prevedibile sulla base dei dati disponibili.

Gli spettri di risposta relativi al *main shock* ad un accelerometro all'Aquila per le due componenti orizzontali dell'accelerazione sono riportate in fig. 5 da dati della rete accelerometrica nazionale della Protezione Civile [14]. Per confronto è riportato, come nelle figure successive, lo "spettro di normativa" con riferimento al D.M. Infrastrutture 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni". Come si vede, le accelerazioni furono sostanzialmente maggiori di quelle dello spettro di riferimento, soprattutto a periodi inferiori a 0,5 s. Il confronto con fig. 3 mostra d'altra parte che le stesse accelerazioni superano, in media, solo di poco lo spettro del MCE.

Gli spettri di risposta relativi al *main shock* ad un accelerometro in superficie nelle vicinanze delle strutture sotterranee dei LNGS, ancora per le due componenti orizzontali dell'accelerazione, sono riportate in fig. 6 [14]. Come si vede, esse sono notevolmente minori che all'Aquila, ma comunque significativamente superiori allo spettro di riferimento.

Infine, in fig. 7 sono riportati gli spettri misurati

in galleria [14]. Il fattore di attenuazione ha circa lo stesso valore che era stato misurato da De Luca *et al.* [12] su sismi di piccola magnitudo.

Come già osservato, gli effetti di un terremoto sulle strutture dipendono dall'accelerazione e dallo spostamento del suolo. La fig. 8 mostra lo spettro di risposta negli spostamenti. Come si vede, sono apprezzabili, ma inferiori allo spettro di normativa e, a maggior ragione, del MCE.

In conclusione, il doloroso evento sismico del 6 aprile ha confermato quanto sia importante definire precise regole per la sicurezza per gli apparati sperimentali e rigorose normative per la loro costruzione ed esercizio. In particolare, le norme per il rischio sismico dei LNGS, basate su indagini scientifiche specifiche, avrebbero garantito la sicurezza degli apparati anche se le accelerazioni fossero state quelle sofferte a L'Aquila. Altrettanto importanti e necessarie sono le azioni di monitoraggio da realizzare con continuità con un insieme di strumenti complementari.

Ringraziamenti

La discussione dei dati e le figure relativi all'evento sismico del 6 aprile 2009 non sarebbe stata possibile senza l'aiuto del Dr. Gaetano De Luca e dell'Ing. G. Bongiovanni. È un piacere ringraziare W. Plastino e R. Tartaglia.

8



Fig. 7 Spettro di risposta per le due componenti orizzontali dell'accelerazione nei laboratori sotterranei.

Fig. 8 Spettro di risposta per le due componenti orizzontali dello spostamento nei laboratori sotterranei.

Bibliografia

- [1] INGV. Sismicità Storica dell'area Aquilana (CPTI04, 2004) <http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile/informazioni%20generali%20sequenza%20sismica%20aquila>
- [2] L. Crescentini, A. Amoruso, G. Fiocco, and G. Visconti, "Installation of a high-sensitivity laser strainmeter in a tunnel in central Italy", *Rev. Sci. Instrum.*, 68 (1997) 3206.
- [3] A. Amoruso, L. Crescentini, "GIGS, the Interferometric Station"; A. Amoruso, L. Crescentini, "Coseismic and aseismic strain offsets recorded by the Gran Sasso strainmeter", in *The Gran Sasso Laboratory 1979-1999*, a cura di A. Bettini, INFN (1999).
- [4] F. Bella et al.; "Very slow-moving crustal strain disturbances", *Tectonophys.*, 179 (1990) 131.
- [5] W. Plastino, F. Bella, P. G. Catalano, R. Di Giovambattista, "Radon groundwater geochemistry related to seismic events in central Apennines (Italy)", *Seismol. Res. Lett.*, 72 (2000) 290.
- [6] W. Plastino, F. Bella, "Radon groundwater monitoring at underground laboratories of Gran Sasso (Italy)", *Geophys. Res. Lett.*, 28 (2000) 2675.
- [7] G. De Luca, R. Scarpa, M. Abril, A. Cirella, "Seismic arrays", in *The Gran Sasso Laboratory 1979-1999*, a cura di A. Bettini, INFN (1999); G. De Luca, R. Scarpa, L. Filippi, A. Gorini, S. Marcucci, P. Marsan, G. Milana and E. Zambonelli, "A detailed analysis of two seismic sequences in Abruzzo, Central Apennines, Italy", *J. Seismol.*, 4 (2000) 1; G. De Luca, M. Cattaneo, G. Monachesi, A. Amato; "Seismicity in Central and Northern Apennines integrating the Italian national and regional networks"; *Tectonophys.*, in press (2009).
- [8] http://www.lngs.infn.it/lngs_infn/index.htm?mainRecord=http://www.lngs.infn.it/lngs_infn/contents/lngs_en/research/experiments_scientific_info/
- [9] R. Scarpa, R. Muscente, F. Tronca, C. Fischione, P. Rotella, M. Abril, J. Alguacil, W. De Cesare, M. Martini (2004): "UNDERSEIS - The Underground Seismic Array"; *Seism. Res. Lett.*, 75, no. 4 (2004).
- [10] G. De Luca, S. Marcucci, G. Milana and T. Sanò, "Evidence of Low-Frequency Amplification in the City of L'Aquila, Central Italy, through a Multidisciplinary Approach Including Strong- and Weak-Motion Data, Ambient Noise, and Numerical Modeling". *Bull. Seism. Soc. Am.*, 95 (2005) 1469.
- [11] Tra le norme più recenti: i D. M. Infrastrutture "Norme tecniche per le costruzioni" del 14/9/2005 e del 14/1/2008; Commission of the European Communities, "Eurocode 8 del Dicembre 2003: "Design of structures for earthquake resistance", EN 1998; Settembre 2004: Ordinanza 3274, "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici".
- [12] G. De Luca, E. Del Pezzo, F. Di Luccio, L. Margheriti, G. Milana, R. Scarpa. "Site response study in Abruzzo (Central Italy): underground array versus surface station", *J. Seismol.*, 2 (1998) 223.
- [13] A. Gianpaoli e R. Tartaglia *Guida alla sicurezza per gli esperimenti nel LNGS*, INFN (2000).
- [14] www.protezionecivile.it Rete accelerometrica nazionale.

Alessandro Bettini

Professore Ordinario di Fisica Generale presso l'Università di Padova nel 1981, ha ricoperto numerosi incarichi di responsabilità nell'INFN, tra i quali la direzione dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso. Dal 2008 è Direttore del Laboratorio Sotterraneo di Canfranc (Spagna).

Fisico sperimentale di particelle elementari ha condotto e diretto esperimenti presso il CERN e LNGS. Ha dato contributi alla spettroscopia degli adroni, in particolare con la scoperta della prima risonanza scalare, allo studio delle annichilazioni di antiprotoni, alla fisica del charm, dei bosoni vettori e del neutrino.

È autore o coautore di più di 150 pubblicazioni scientifiche su riviste internazionali con referendari, di tre volumi di fisica generale pubblicati da Zanichelli e di uno di particelle elementari pubblicato da Cambridge University Press.

È socio dell'Accademia Galileiana di Scienze Lettere e Arti e della Società Italiana di Fisica, di cui è Consigliere.

Eugenio Coccia

È Professore Ordinario di Astrofisica presso l'Università di Roma Tor Vergata ed ha diretto negli ultimi 6 anni i Laboratori Nazionali del Gran Sasso dell'INFN. È stato Presidente della Società Italiana di Relatività Generale e Fisica della Gravitazione dal 2000 al 2004 e Presidente della Commissione Scientifica sulla fisica astroparticellare dell'INFN nel 2002/2003.

È responsabile degli esperimenti di ricerca delle onde gravitazionali EXPLORER (installato al CERN) e NAUTILUS (nei Laboratori di Frascati dell'INFN) e partecipa all'esperimento VIRGO.

Fisico sperimentale, esperto di criogenia alle bassissime temperature, è autore di 5 volumi e oltre 200 pubblicazioni su riviste internazionali sui rivelatori di onde gravitazionali, sulla fisica della gravitazione e più in generale sulla fisica astroparticellare.

20 ANNI DI WWW

IL WORLD WIDE WEB E LA FISICA DELLE PARTICELLE,
DAL PHONEBOOK DEL CERN A FACEBOOK

FRANCESCO-LUIGI NAVARRIA

Dipartimento di Fisica, Università di Bologna, e INFN,
Sezione di Bologna

1 Introduzione

Il *World Wide Web* (WWW o semplicemente il Web), delineato in una proposta presentata nel marzo 1989 da Tim Berners-Lee [1], allora ricercatore al CERN di Ginevra, rappresenta la risposta alla necessità di trovare un modo efficiente per scambiare informazione in modo indipendente dalla piattaforma usata, a quella di organizzarla nel modo più flessibile ed efficiente, e molto altro ancora.

Il Web permette lo svolgimento di gran parte delle attività umane ed evolve sempre più verso un vero Web della vita, come era nella visione originale del suo inventore. Si tratta di uno spazio di informazioni, cioè di documenti e di collegamenti, con cui abbiamo continuamente a che fare ad ogni livello ed in ogni momento della giornata. Si va dalla semplice ricerca e pubblicazione di qualsiasi tipo di documento e di informazione in una complessa enciclopedia ipertestuale, fino alle possibilità interattive ed intracreative offerte dagli strumenti collaborativi. Ciò che non è sul Web, semplicemente non è, si può dire parafrasando la filosofia del *World Wide Web Consortium* (W3C) riguardo ai documenti. Due statistiche rappresentano bene l'impatto del Web a livello planetario. L'evoluzione del numero di *server* Web è stata esponenziale, dal primo *server* NeXT funzionante al CERN nel 1991, fino ai più di 200 M attuali [2]. La percentuale di abitanti che ha accesso a Internet [3], nel Nord America ed in alcuni paesi d'Europa ha superato il 70% e si può dire stia saturando. All'estremo opposto, in Africa, si raggiunge appena il 5%. Mediamente quasi un abitante del pianeta su quattro ha accesso alla rete e questo avviene quasi sempre attraverso il Web.

Quello che Tim (fig. 1) ha raggiunto è stato compensato con una lunga serie di premi e di onoreficenze, fra tanti basti citare il *Millennium Prize* e l'essere stato fatto baronetto da Elisabetta II nel dicembre 2003. Il suo obiettivo però è rimasto quello di riuscire a portare il Web a sviluppare appieno il suo potenziale.

Il Web, noto al pubblico per la possibilità di comprare un biglietto del treno o di fare una telefonata a buon mercato, è originato come mezzo per migliorare il mantenimento e lo scambio di documenti fra i fisici delle alte energie che lavoravano al CERN.



Fig. 1 Tim Berners-Lee, con Kofi Annan, durante la conferenza "The Role of Science in the Information Society", Ginevra, 8-9 dicembre 2003, qualche settimana prima di diventare Sir Tim (reproduced from SIS-Forum web page, © CERN, Geneva).

2 Il contesto

Le idee di Tim Berners-Lee si sono sviluppate e sono state realizzate mentre lavorava al CERN, a contatto con acceleratori ed esperimenti, e le caratteristiche del laboratorio hanno ispirato e determinato il Web almeno al suo inizio.

Al CERN, oltre ai contratti permanenti, sono presenti numerosi contratti a termine, borsisti ed una moltitudine di utilizzatori che rimane per un periodo limitato allo svolgimento delle proprie ricerche. Attualmente, coll'inizio della sperimentazione al *Large Hadron Collider* (LHC) si stanno raggiungendo i 10 000 utilizzatori, mentre all'epoca del *Large Electron-Positron collider* (LEP) si è arrivati a circa 6 000 [4]. Il risultato è una popolazione in continuo avvicendamento, con il rischio di perdere una grande quantità d'informazione e di conoscenze a meno di non avere un sistema di documentazione efficiente, facilmente gestibile ed usabile. Un altro aspetto del microcosmo dei fisici delle alte energie è la formazione di grossi gruppi sperimentali internazionali, sparsi per l'Europa e gli altri continenti, accomunati dal linguaggio scientifico, al di là di divisioni linguistiche o anche politiche, processo iniziato già all'epoca delle camere a bolle.

Da un lato una nuova generazione di esperimenti stava raccogliendo i primi dati col nuovo collisionatore LEP (entrato in funzione il 14 luglio 1989, 200 anni dopo la presa della Bastiglia), mentre già si pensava ai possibili miglioramenti dell'acceleratore e degli esperimenti. Dall'altro lato il CERN era diventato il più grande sito Internet in Europa e al tempo stesso, per le necessità di grandi acceleratori e di complessi esperimenti comprendenti decine di sottorivelatori, vi si era sviluppata la cultura del calcolo distribuito. Situazioni analoghe a quella del CERN si erano sviluppate a DESY, SLAC e Fermilab. Tim aveva contribuito in persona allo sviluppo di *Remote Procedure Call* quando era assegnato all'*on-line* dell'esperimento DELPHI al LEP. Questa esperienza gli ha permesso di rendersi padrone di alcune tecniche essenziali per lo sviluppo del Web: portabilità del *software*, programmazione a livello di rete e di *socket* [5]. Il Web è l'unione di due concetti fondamentali nel campo della comunicazione: l'ipertesto e

l'uso della rete per lo scambio di documenti, archiviazione e accesso. Ambedue questi concetti preesistevano da parecchi anni, ma, mentre migliaia di *computer scientists* li avevano applicati separatamente, nella loro fusione Tim realizza uno strumento interamente nuovo, rispondente alle esigenze di comunicazione e di collaborazione dei fisici delle alte energie prima e di tutta la popolazione mondiale poi.

Nel 1989 le reti fisiche che collegavano *computer* fra loro esistevano già da venti anni. Anche l'ipertesto aveva una lunga storia. A partire dalle prime idee di Vannevar Bush [6] e dalla definizione di Ted Nelson per descrivere informazione leggibile da un essere umano collegata insieme senza legami rigidi, si era arrivati alle realizzazioni di Douglas Engelbart [7]. Il sistema di Engelbart si chiamava *on-Line System (NLS)*, divenuto successivamente *Augment* nella sua versione commerciale. *NLS-Augment* era una dimostrazione sofisticata di ipertesto strutturato e la realizzazione di una comunità on-line, un po' in anticipo rispetto all'attuale *Facebook* [8], che nell'aprile 2009 ha raggiunto i 200 M di iscritti¹.

3 La proposta e gli inizi del Web

"*Information Management: A Proposal*" (fig. 2) è datata 13 marzo 1989 [1].

"*Vague but exciting...*", con questo scarno commento, annotato manualmente su una copia del documento, Mike Sendall, che era il diretto superiore di Tim nella divisione DD del CERN, ha fatto storia, permettendo al progetto

¹ Mentre alcune amministrazioni e ditte proibiscono l'accesso a *Facebook* ai dipendenti, è da notare che l'impatto di queste iniziative può andare oltre la pura socializzazione al di fuori dal lavoro. Nel 2007 al CERN si è osservato un calo nelle domande per ottenere un *Fellowship*, con alcuni Paesi Membri scarsamente rappresentati ed alcune discipline senza candidati validi. Di conseguenza nel 2008 sono state lanciate diverse iniziative di reclutamento, usando in particolare nuove tecnologie, quali *Facebook*, *YouTube* etc. Nella *homepage* pubblica della collaborazione ATLAS ad LHC è presente un collegamento ad *YouTube* [9] con numerosi filmati sull'esperimento. Il CERN stesso ha un canale su *YouTube*, CERN TV, dall'ottobre 2007. Anche la *CERN Library* ha aperto di recente una pagina su *Facebook* [10].



di continuare e, in retrospettiva, di cambiare il mondo. Vent'anni dopo al CERN c'è stata la celebrazione ufficiale [11] con la presenza fra l'altro di alcuni attori di allora, Tim Berners-Lee, Robert Cailliau, Ben Segal, colui che ha introdotto Internet al CERN, il *computer* NeXT (Fig. 3).

Il documento inizia con "CERN is a wonderful organization" ... "CERN" is a model in miniature for the rest of the world in a few years time" – "fra 10 anni vi saranno soluzioni commerciali, ma noi le vogliamo adesso per poter continuare". Dopo aver identificato i problemi connessi con soluzioni ad albero o con l'uso di parole chiave, Tim suggerisce per il mantenimento delle informazioni generali sugli acceleratori e sugli esperimenti la soluzione ipertestuale: un "web" di note con collegamenti (tipo referenze) fra loro è molto più utile di un sistema gerarchico fisso (quali erano allora CERNDOC, il sistema di *file* di Unix, o VMS/HELP). Il sistema disegnato da Tim è pieno di frecce e cerchi (fig. 2), nodi e collegamenti, che hanno significati diversi in contesti diversi: tale sistema deve permettere l'inserimento di ogni sorta di informazione. Un'altra persona deve essere capace di trovare l'informazione, qualche volta senza neanche sapere cosa sta cercando. Tim aveva avuto personalmente esperienza con un sistema ipertestuale. Nel 1980, durante una sua precedente permanenza al CERN, ha scritto il programma *Enquire*² per tener traccia di tutte le associazioni casuali che si incontrano nella vita reale e che un cervello dovrebbe ricordare, in particolare del lavoro sul *software* di controllo del ProtoSincrotrone (PS). Questo programma permetteva di navigare fra varie pagine seguendo collegamenti. L'altro punto chiave della proposta è l'accesso remoto attraverso le reti. Questo consente l'eterogeneità delle piattaforme (allora VM/CMS, Macintosh, VAX/VMS, Unix) e l'accesso ai dati distribuiti, evitando naturalmente una centralizzazione dell'informazione. L'architettura del sistema è basata sul modello *client-server* (fig. 4) per un

² Il nome deriva da *Enquire Within Upon Everything*, edizione 1875, un almanacco di epoca vittoriana contenente ogni sorta d'informazione e di consigli, pieno di associazioni potenzialmente casuali. L'introduzione diceva che avrebbe potuto essere usato in qualsiasi circostanza, come il Web adesso.

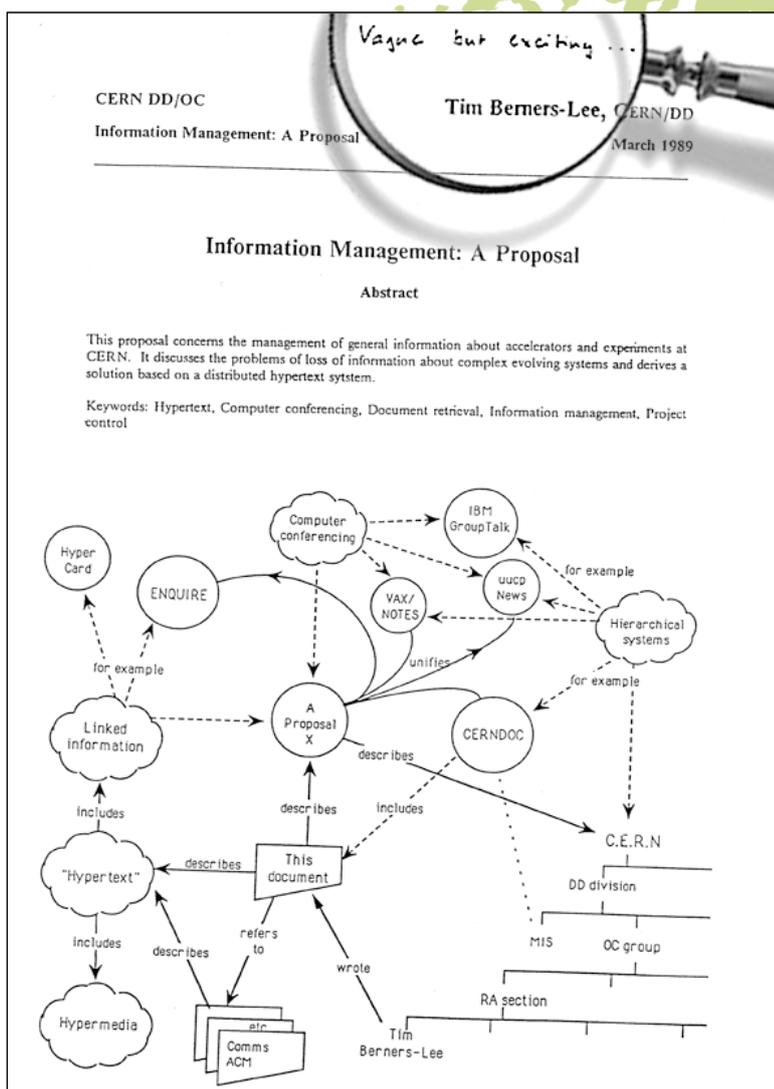


Fig. 2 Frontespizio della proposta.



Fig. 3 Il *computer* NeXT usato da Tim per scrivere il primo *server* Web ed il primo *browser*. È stato riaccessato per una dimostrazione durante la celebrazione dei 20 anni del Web.

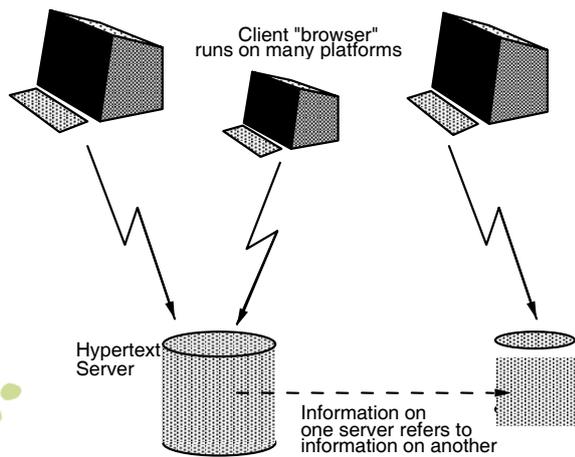


Fig. 4 L'architettura *client-server* per un sistema di ipertesto distribuito.

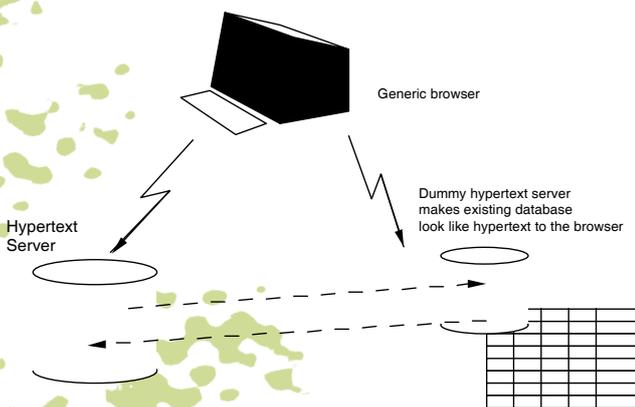


Fig. 5 *Hypertext gateway*: permette ad un *browser* di vedere un *database* esistente come ipertesto.

| Welcome to CERN | |
|---|---|
| CERN Information | |
| CERN is the European Particle Physics Laboratory in Geneva, Switzerland. Select by number information here, or elsewhere (Return for more). | |
| Help [1] | On this program, or the World-Wide Web project [2]. |
| Phone book [3] | People, phone numbers, accounts and email addresses. See also the analytical Yellow Pages [4], or the same index in French: Pages Jaunes [5] |
| CC Documentation[6] | Index of computer centre documentation, newsletters, news, help files, etc... |
| News [7] | A complete list of all public CERN news groups, such as news from the CERN User's Office [8], Cern computer center news [9], student news [10]. See also Private groups [11] and Internet news [12] |
| From other sites:- 1-24, <RETURN> for more, Quit, or Help: | |

Fig. 6 Il browser scritto da Nicola Pellow per terminali VT100.

ipertesto distribuito. Infine per essere utile il sistema doveva poter accedere ai dati esistenti (fig. 5). Da notare il basso profilo all'inizio del progetto: si stimava che due persone per 6 o 12 mesi fossero sufficienti in una prima fase del progetto.

Nell'ottobre 1990, Tim Berners-Lee e Robert Cailliau presentano una proposta rivista e aggiornata [12] per un ipertesto distribuito mondialmente. A partire da novembre il primo sistema *Web client-server* era in funzione sulla piattaforma NeXT con caratteristiche molto avanzate (ad es. la possibilità di editare documenti), ma disponibili solo per chi possedeva lo stesso computer. Queste caratteristiche sono diventate accessibili su diversi *browser* solo molti anni dopo.

Nel marzo del 1991 arriva il primo *browser* in modalità testo scritto al CERN dalla studentessa Nicola Pellow. Il vantaggio era di poter essere eseguito su diverse piattaforme (Vax, rs6000, sun4), la limitazione quella di essere visualizzato su terminali basati sui caratteri, VT100 (fig. 6). Parallelamente il codice del *server WWW* era trasportato su piattaforma VAX/VMS e su mainframe IBM VM/CMS al CERN. Intanto si andavano sviluppando i primi *browser* progettati per Unix X-Windows.

Il 12 dicembre 1991 Paul Kunz installa il primo *server Web* non europeo a SLAC. Seguono nel giugno 1992 i *server Web* di FNAL, NIKHEF e DESY.

Il 30 aprile 1993 il CERN decide di rendere pubblico il *software* di WWW in modo assolutamente gratuito (fig. 7), indipendentemente dall'uso non commerciale o meno. Alla fine del 1993 esistono già circa 500 *server Web* e il traffico sulla porta 80, WWW, rappresenta l'1% del traffico su Internet. Nel maggio 1994 ha luogo al CERN la *First International WWW Conference* con 400 partecipanti, la Woodstock del Web [13]³. Alla fine del 1994 LHC è approvato entro il bilancio annuale del laboratorio e il CERN arresta le attività di sviluppo Web per concentrarsi sulla costruzione della nuova macchina.

³ In effetti il primo *workshop* internazionale sul Web si è tenuto a San Miniato nel marzo 1994 [14].




Per quanto riguarda il *software* le tappe più importanti all'inizio sono l'arrivo di *browser* sempre più efficienti e di nuovi linguaggi.

Mosaic del NCSA per X-Windows, con funzionalità grafiche utili per formattare una pagina, esce all'inizio del 1993 e aumenta notevolmente la popolarità del Web.

Netscape Navigator, con funzionalità grafiche migliorate, arriva sul mercato nel novembre 1994. Nel maggio 1995 arriva il linguaggio Java e la possibilità di eseguire il codice (*applet*) direttamente sul *client* rivoluzionando il problema dell'interattività affrontato fino ad allora con programmi o *script Common Gate Interface*.

4 Prime applicazioni del Web alla fisica delle particelle

È un dato di fatto che il Web non ha avuto immediatamente un impatto rivoluzionario sulla fisica delle alte energie dentro alla quale era nato. L'ipertesto in rete era percepito come un esercizio di *computer science* piuttosto che qualcosa di utile all'esperimento.

Per rendersi utile un *Web server* doveva offrire una interfaccia migliore a prodotti esistenti. Si è cominciato col *Phone Book* del CERN, che, visto l'avvicendamento continuo del personale, rappresentava un problema per la necessità continua di aggiornamento. Un'interfaccia unica, accessibile in *linemode* ma da un qualsiasi terminale VT 100 connesso ad una piattaforma qualsiasi, era una soluzione al problema. Il primo *server info.cern.ch* conteneva in un *menu* anche documentazione del *Computer Centre*, *News (User's Office etc.)* ed altre pagine utili (fig. 6).

SPIRES (*Stanford Public Information REtrieval System*) è stata una delle prime dimostrazioni dell'utilità di un'interfaccia Web a convincere i fisici delle alte energie. SPIRES permette di accedere ad una serie di database rilevanti per la fisica delle particelle, contenenti riferimenti a *preprint* (con circa 450 000 voci, attualmente), altri riferimenti bibliografici, citazioni, nomi di autori, istituti, esperimenti, conferenze e dati sulle particelle. SPIRES WWW è stato uno dei primi *server* fuori dal CERN. È stato anche un esempio di quanto si guadagna ad interfacciare un *database* esistente usando

il Web e sfruttandone l'architettura *client-server* distribuita. Il collegamento fra SPIRES ed altri database contenenti le versioni elettroniche dei *preprint* (ad es. *arXiv* di Los Alamos) ha fatto la fortuna del sistema ed al tempo stesso ha rivoluzionato il modo di lavorare dei fisici delle particelle: una bibliografia può essere completata in una frazione di secondo e le singole voci possono subito essere scaricate e/o stampate.

Homepage. Molti esperimenti e laboratori realizzarono rapidamente che un *Web server* poteva essere un ottimo strumento per mantenere e rendere accessibili informazioni, sia rivolte all'esterno che all'interno, comprendendo missioni, scopi, pubblicazioni, elenchi telefonici e di indirizzi *e-mail*, gruppi di studio, conferenze, seminari, distribuzione e mantenimento di *software* etc. L'informazione interna poteva essere facilmente protetta da *password* e contenere lavori in corso, informazioni sensibili etc. Con l'uscita di Mosaic nel febbraio 1993 il *browser* può ricevere documenti preesistenti e mostrarli sullo schermo del *computer* secondo istruzioni annesse in *Hyper Text Markup Language* (HTML). Può anche ricevere un documento elettronico sintetizzato, cui non corrisponde alcun documento effettivo, ma solo una pagina in HTML prodotta in tempo reale. Il Web è stato usato quindi subito anche per gli *Slow Controls* dell'esperimento, monitoraggio di fluidi vari, alte tensioni, basse tensioni, temperature, pressione etc. [15] In generale, si è visto che era possibile monitorare l'esperimento via Web.

Java. Si tratta di un linguaggio interpretato che oggi come oggi è alla base di tutte le applicazioni movimentate nelle *homepage*. *Java applet* possono essere eseguite dovunque un sistema operativo permetta di avere una *Java Virtual Machine* (JVM). Una delle prime applicazioni di Java alla fisica delle alte energie è WIRED (*Web based Interactive Remote Event Display*), un visualizzatore di eventi universale, eseguibile come *applet* su qualsiasi *computer*. È stato iniziato da Mark Donszelmann con gli eventi di DELPHI al LEP e continuato a SLAC per gli eventi di BABAR. WIRED è tuttora usato da GLAST e per visualizzare gli eventi LEP nelle *European Masterclasses* [16].






Fig. 7 Il documento con cui il CERN rende pubblico il software del Web.

5 Alcune applicazioni recenti in fisica delle particelle

Riviste elettroniche. Una delle applicazioni del Web presentata al *workshop* di San Miniato era la produzione di un quotidiano elettronico, L'Unione Sarda, prodotto in collaborazione con il CSR4 [17]. In campo scientifico versioni *on-line* di riviste sono state prodotte parallelamente alla versione tradizionale stampata, tipicamente in formato pdf. Successivamente sono uscite riviste interamente elettroniche, ad es. *Journal of High-Energy Physics* (JHEP) [18]. Il contenuto degli articoli è liberamente accessibile per 30 giorni dopo la pubblicazione *on-line* e lo resta per alcuni paesi in via di sviluppo o a basso reddito. Più recente è *Journal of INSTRumentation* (JINST) [19] iniziato nell'aprile 2006, una rivista dedicata alla strumentazione per le alte energie⁴. Le riviste elettroniche

⁴ In un numero speciale di agosto 2008 sono stati pubblicati gli articoli relativi ai rivelatori operanti ad LHC (ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf, TOTEM), nonché alla macchina. Questi articoli sono liberamente accessibili, per gli altri valgono le stesse regole che per JHEP.

disponibili solo sul Web, a pagamento o meno, assumono sempre più importanza rispetto a quelle tradizionali. I lettori sono interessati alla possibilità di trovare qualsiasi articolo il più rapidamente e liberamente possibile. Mentre i *preprint* sono sempre stati accessibili liberamente sul Web, non sempre ciò è vero per le pubblicazioni finali nei giornali scientifici. Questa contraddizione fra ciò che è disponibile liberamente e ciò che non lo è dopo *peer review*, è uno dei motivi dietro il movimento *Open Access* [20]. Forse anche in questo caso, nonostante l'importanza relativa nel campo delle pubblicazioni scientifiche, è sperabile che, come col Web, i fisici delle particelle contribuiscano ad una rivoluzione mondiale nel campo della libertà di accesso all'informazione scientifica.

Sistemi di (video)conferenza. *HyperNews* (HN) sviluppato nel 1994 da Daniel La Liberté presso il NCSA permette a gruppi di persone di partecipare in una conferenza elettronica [21]. Ogni conferenza comincia con un articolo, che può essere letto e commentato da ciascuno dei partecipanti. HN permette vari sistemi di avviso col procedere della discussione. HN è

sostanzialmente basato su testo, ma articolo iniziale e commenti possono contenere elementi multimediali. HN è tuttora usato estensivamente, per es. dalle collaborazioni a LHC per diffondere le notizie e suscitare la discussione all'interno dei gruppi di lavoro. Recentemente è entrato in funzione il sistema *Enabling Virtual Organizations* (EVO) [22] gestito da CalTech, che ha rimpiazzato il *Virtual Room Videoconferencing System* (VRVS) per le videoconferenze. Il sistema EVO è basato su una nuova architettura distribuita ed ha come primo obiettivo il provvedere un sistema migliorato ed un servizio a LHC e ad altri importanti programmi di fisica delle alte energie. Koala, il *client* EVO, è basato su Java e gira sui tre maggiori sistemi operativi usati dalla comunità scientifica, Linux, MacOS e Windows.

6 Applicazioni didattiche

Numerose sono le applicazioni didattiche del Web. Cito solo quelle che mi sono più familiari. *Innovative Software for Higher-education Telematics Applications R&d* (ISHTAR) è un progetto di didattica sul Web sviluppato fino dal 1994 al Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna [23]. Lo scopo è quello di fornire servizi sia per docenti che per studenti. Il *server* contiene corsi di fisica interattivi sviluppati appositamente ad un livello adatto al primo anno di università per studenti di scienze della vita. Un esercizionario interattivo con esercizi scelti a caso da un *database* contenente più di 600 problemi permette agli studenti di verificare la loro preparazione. Altri servizi comprendono la possibilità per il docente di creare elenchi per l'iscrizione agli esami e di pubblicarne i risultati, di pubblicare una *homepage*, collegandovi ogni tipo d'informazioni, avvisi, programmi, copie dei lucidi di lezione etc. Successivamente quasi tutti questi servizi sono stati offerti da *server* di ateneo, mentre corsi e esercizi continuano ad essere usati. Un tipo diverso di *server* è quello in cui si mettono a disposizione serie di centinaia di applet per uso didattico, ad es. [24].

7 Il futuro del Web

Il W3C, che Tim ha fondato nel 1994 dopo aver lasciato il CERN e di cui è tuttora direttore, è il luogo dove si fa il futuro del Web per portarlo al suo pieno potenziale. Esso ha la missione di creare standard Web e linee guida, creando il potere di comunicare, di scambiare informazioni e di scrivere applicazioni dinamiche per chiunque, dovunque, in ogni momento, usando un qualsiasi apparecchio. Il numero di apparecchi che possono accedere al Web è cresciuto enormemente. Oggi telefoni cellulari, assistenti digitali personali, sistemi di televisione interattiva, sistemi di risposta vocale e anche certi apparecchi domestici possono tutti accedere al Web⁵. L'obiettivo di W3C è quello di rendere l'accesso al Web da parte di ogni tipo di apparecchio semplice, facile e conveniente come l'accesso al Web da un *computer*. Un altro aspetto è il Web semantico, termine coniato dal suo ideatore, Tim Berners-Lee, che implica la trasformazione del Web in un ambiente dove i documenti pubblicati (pagine HTML, *file*, immagini, etc.) siano associati ad informazioni e dati (metadati) che ne specifichino il contesto semantico in un formato adatto all'interrogazione, all'interpretazione e, più in generale, all'elaborazione automatica.

8 Conclusioni

L'essere stato accettato su scala planetaria e l'essere persistente in un mondo di tecnologie mutanti e sempre più avanzate, è una riprova del fatto che il progetto originale del Web, basato sul modello *client-server* e sull'ipertesto distribuito, era un progetto solido, con quel tanto di visionario che ne ha fatto una svolta rivoluzionaria.

Per molti aspetti il Web ha superato le attese e oggi come oggi tante applicazioni basate sul Web erano inimmaginabili 20 anni fa. Oggi

⁵ Per es. i pescatori africani possono connettersi al Web con telefoni cellulari per conoscere in tempo reale verso quale mercato è più conveniente dirigersi per vendere il pescato.



lo sviluppo del Web è globale e legato allo sviluppo delle tecnologie di Internet e non più condizionato dalla fisica delle particelle. In alcuni settori legati al Web però la fisica delle particelle è tuttora motore di sviluppo, basti citare la tecnologia GRID e l'iniziativa per *Open Access Publishing*: in ambedue questi casi il CERN e tutta la comunità delle alte energie sono una delle principali forze propulsive. Le lezioni che si possono trarre sono due. L'eccellenza nella ricerca richiede nuovi metodi e nuovi prodotti che possono essere poi applicati in altre aree. I centri di ricerca e le università sono sviluppatori e moltiplicatori importanti di nuove tecnologie.

Ringraziamenti

Ringrazio Robert Cailliau e Pier Giovanni Pelfer con cui ho collaborato ad organizzare il primo evento internazionale in cui si è parlato di WWW. Ringrazio Paolo Palazzi, che in quella occasione ha fornito dal CERN l'aiuto necessario, in termini di *hardware* e di personale, facendo sì che l'evento potesse realizzarsi nel migliore dei modi. Ringrazio Marc Donszelmann per una conversazione sull'uso *on-line* del Web e sull'impatto di Java. Vorrei poi ringraziare tutti quelli che hanno contribuito al sito Web ISHTAR, a cominciare da Tiziano Rovelli che lo ha progettato, iniziato e mantenuto. Vorrei infine cogliere l'occasione per ringraziare Luisa Cifarelli che mi ha invitato a scrivere questo articolo, ed apprezzare la collaborazione di Angela Oleandri e di Carmen Vasini nel produrlo.

Bibliografia

- [1] T. Berners-Lee, "Information Management: A Proposal", CERN DD/OC, March 1989; May 1990;
<http://www.w3.org/History/1989/proposal.html>
- [2] <http://news.netcraft.com/>
<http://www.domaintools.com/internet-statistics/>
- [3] <http://www.internetworldstats.com/stats.htm>
- [4] <https://hr-info.web.cern.ch/hr-info/stats/persstats/CERNPersonnelStatistics2007.pdf>
- [5] B. White, "SLAC-PUB-7815", *Phys. Today*, 51 (1998) 30.
- [6] V. Bush, "As we may think", *The Atlantic Monthly*, July 1945.
- [7] D. Engelbart, "Conceptual Framework for Augmenting Human Intellect", *SRI* (1962); *Communications of the ACM*, 38 (1995) 30.
- [8] <http://www.facebook.com/>
- [9] <http://www.youtube.com/TheATLASExperiment>
- [10] <http://www.facebook.com/pages/Geneva-Switzerland/CERN-Library/99397816969>
- [11] <http://cdsweb.cern.ch/record/1167328>
- [12] T. Berners-Lee and R. Cailliau, "World-Wide Proposal for a HyperText Project", CERN, October 1990.
- [13] First International Conference on the World-Wide Web, CERN, 25-27 May 1994
<http://www94.web.cern.ch/WWW94/>
- [14] R. Cailliau, F.-L. Navarria and P.G. Pelfer (curatori), "The World Wide Web and Beyond in Physics Research and Applications", *Proc. of the San Miniato Topical Seminar*, 14-17 March 1994, *Int. Jour. Mod. Phys.*, C5, no. 5 (1994).
<http://www.bo.infn.it/sminiato/sminiato94.html>
- [15] M. Dönszelmann, *Int. Jour. Mod. Phys.*, C5 (1994) 755.
- [16] http://www.physicsmasterclasses.org/physics/physics_hoc.htm
- [17] F. Ruggiero and R. Van Kleij, *Int. Jour. Mod. Phys.*, C5 (1994) 899.
- [18] <http://www.iop.org/EJ/jhep/jhep/>
- [19] <http://www.iop.org/EJ/journal/jinst>
- [20] <http://doc.cern.ch/archive/electronic/cern/preprints/open/open-2007-009.pdf>
<http://library.web.cern.ch/library/OpenAccess/SIPBPubPol.17.11.03.htm>
http://library.web.cern.ch/library/OpenAccess/CERN_exec_board_23.03.05.html
- [21] <http://hypernews.org/>
- [22] <http://evo.caltech.edu>
- [23] F.-L. Navarria, T. Rovelli e N. Tinti, *Il Nuovo Saggiatore*, 19, no. 3-4 (2003) 21.
<http://ishtar.df.unibo.it>
- [24] <http://www.ba.infn.it/~zito/museo/raccolta.html>
<http://www.falstad.com/mathphysics.html>
<http://www.walter-fendt.de/ph14i>

Ulteriori letture

- Tim Berners-Lee, with Mark Fischetti, "Weaving the Web: the original design and the ultimate destiny of the World Wide Web by its inventor" (Harper, San Francisco) 1999.
- James Gillies & Robert Cailliau, "How the Web was Born" (Oxford University Press) 2000.

Francesco-Luigi Navarria

Laureato in Fisica nel 1968, professore di Fisica presso l'Università di Bologna, collabora con l'INFN e con il CERN dal 1966. *Fellow* al CERN nel periodo 1973-75. La sua attività di ricerca è iniziata con lo studio delle risonanze mesoniche, continuando con la fisica dei K neutri e degli iperoni, con lo studio delle prime collisioni p-p agli ISR, con l'urto profondamente inelastico di neutrini e muoni, con la fisica e+e- a LEP e con quella p-p a LHC. Dal 1994 collabora ad attività di didattica della fisica con WWW. Dal 2002 si interessa anche all'*imaging* medico. Dal 1984 ha partecipato all'organizzazione di una serie di conferenze sulla fisica e astrofisica delle particelle, sulla strumentazione e sul calcolo.

PHYSWARE

LA FISICA E I PAESI IN VIA DI SVILUPPO

ELENA SASSI*

Dipartimento di Scienze Fisiche, Università "Federico II", Napoli, Italia

Viene descritto un intervento intensivo per insegnanti di fisica e loro formatori che ha coinvolto ventiquattro paesi emergenti. L'impostazione costruttivista ha integrato laboratorio con materiali a basso costo e tecnologie mature (sensori *on-line*). Gli sviluppi riguardano l'allargamento dell'iniziativa attraverso una comunità di pratica che integri interventi in presenza e collaborazione a distanza.

1 L'iniziativa PHYSWARE

Dal 16 al 27 febbraio 2009, presso il Centro Internazionale di Fisica Teorica Abdus Salam (ICTP) di Trieste si è svolto PHYSWARE: *A Collaborative Workshop on Low-cost Equipment and Appropriate Technologies that Promote Undergraduate Level, Hands-on Physics Education throughout the Developing World*¹. Per l'ICTP è stato il primo intervento di formazione di insegnanti di fisica riferito a studenti nella fascia di età 15-19 anni². PHYSWARE ha avuto più di 200 domande di partecipazione, da 48 paesi. Una selezione, su criteri di bilancio fra aree del mondo, genere, esperienza pregressa, potenzialità di disseminazione, ecc... ha prodotto un gruppo di 32 partecipanti da 27 paesi divisi tra Africa, Asia, America Latina ed Europa (fig. 1).



Fig. 1 I partecipanti a PHYSWARE 2009.

¹ I direttori del workshop sono stati: Pratibha Jolly (University of Delhi, India), Priscilla Laws (Dickinson College, USA), Elena Sassi (Università di Napoli "Federico II", Italia), Dean Zollman (Kansas State University, USA) con organizzatore locale Joe Niemela (ICTP).

² Questo articolo rielabora, in qualche parte, il Rapporto richiesto da ICTP per ogni corso.

* sassi@na.infn.it

L'iniziativa PHYSWARE, origina dalla *World Conference on Physics and Sustainable Development* (WCPSD, Durban, South Africa, 2005). La conferenza, patrocinata da ICTP, *International Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP) ed UNESCO, era focalizzata su quattro settori: *Physics Education, Physics and Economic Development, Energy and Environment, and Physics and Health*. Le raccomandazioni emerse per *Physics Education* furono:

- rafforzare l'insegnamento/apprendimento della fisica in maniere determinate e sostenute da iniziative locali;
- enfasi sul miglioramento della formazione in fisica nella scuola secondaria e per i futuri insegnanti di primaria e secondaria;
- promuovere un insegnamento della fisica di base sostenuto da progetti/esempi sviluppati localmente e familiari ad insegnanti e studenti.

PHYSWARE è stato ideato non come una iniziativa *una tantum* ma come una serie di *workshop* per creare reti di persone dedicate a migliorare la formazione in fisica nei paesi emergenti. Il gruppo multiculturale che ha lavorato a Trieste, formato da ottimi insegnanti, formatori, autorità educative (a volte con responsabilità regionali o nazionali) ha mostrato buone potenzialità per svolgere ruoli guida nella disseminazione dell'impostazione e dei contenuti proposti. All'inizio i partecipanti sono stati incoraggiati a presentare poster informali su loro iniziative didattiche innovative o situazioni emblematiche della didattica della fisica nella loro istituzione o regione in modo tale da promuovere la conoscenza reciproca e l'identificazione di aree di interesse condivise³.

Le attività, ad immersione totale, si sono articolate su dieci giorni lavorativi. Ogni giornata comprendeva quattro moduli di 105' e, nella maggior parte dei casi, una sessione serale di circa 2 ore dedicate a temi extracorsuali, (p. es. le donne nella scienza, le strumentazioni avanzate in corso di sviluppo al M-Lab dell'ICTP, le tecnologie *wireless* a basso costo, il *computer MIT* "da cento dollari", la *Physics Education* nei paesi emergenti e le possibili azioni dell'ICTP in questo settore).

2. Impostazione e attività di PHYSWARE

La qualità dell'educazione scientifica è oggi riconosciuta come uno dei fattori strategici sia per lo sviluppo socio economico sia come condizione per vivere ed operare in modo partecipativo e consapevole nell'attuale Società della Conoscenza. D'altra parte recenti indagini (cfr. le ricerche

³ Lo sviluppo delle relazioni nel gruppo è stato facilitato dall'essere tutti alloggiati nell'accogliente Adriatico Guest House dell'ICTP, sulla baia di Miramare e dal fatto che tutto si svolgeva lì.

dei progetti internazionali PISA, TIMMS, ROSE [1]) hanno dimostrato una diffusa inadeguatezza dei sistemi educativi studiati ed in particolare una forte disuniformità nella preparazione scientifica non solo nel confronto tra differenti paesi ma anche tra aree diverse di uno stesso paese. Tutto ciò costituisce una sfida che richiede scelte politiche, risorse adeguate, nuovi approcci ed atteggiamenti in tutti gli attori dei sistemi educativi. A questo proposito val la pena citare il Rapporto dell'ex primo ministro francese Michel Rocard "*Science Education NOW: A Renewed Pedagogy for the Future of Europe*"[2] che con le sue raccomandazioni (vedi **box 1**) è riferimento riconosciuto.

Nell'ambito della Ricerca in Didattica della Fisica un filone importante è quello della formazione insegnanti, in quanto elemento centrale per l'innovazione educativa. C'è forte attenzione sulla connessione fra risultati della ricerca e programmi di formazione insegnanti pre ed in servizio [3]. È anche esperienza consolidata che l'innovazione educativa non sia un processo a gradino. Occorre tempo per superare resistenze/inerzie dei sistemi educativi, raggiungere standard di qualità e reale crescita professionale degli insegnanti. PHYSWARE è stata una prima esperienza per migliorare la qualità della formazione in fisica nei paesi emergenti, con forte enfasi sul laboratorio facilmente riproducibile e sull'apprendimento attivo. Le sue parole chiave, sulle quali esiste un largo accordo in ambito educativo, sono: apprendimento attivo, metodi centrati sullo studente, attività "*hands/minds-on*", ciclo d'apprendimento tipo PEC (Previsione, Esperimento, Confronto), integrazione di tipi di laboratorio diversi (con materiali comuni/locali a basso costo, con tecnologie mature, con analisi quantitative di immagini dinamiche, ecc...). In breve, metodi e approcci coerenti con una visione costruttivista dell'apprendimento/insegnamento. Gli obiettivi specifici di PHYSWARE sono stati:

- costituire un gruppo di eccellenti insegnanti e formatori di insegnanti di fisica provenienti da paesi emergenti con culture/tradizioni molto diverse;
- puntare sulla comprensione di nodi concettuali cruciali per costruire conoscenza di fisica (iniziando da Meccanica, quasi sempre primo argomento nei corsi di fisica);
- fare esperienza di approcci/proposte per una partecipazione attiva degli studenti, nello spirito dell'apprendimento collaborativo tra pari;
- sperimentare prototipi di attività "*hands/minds-on*" adattabili a differenti culture, contesti e risorse disponibili; realizzare una sinergia fra laboratorio a basso costo e uso appropriato di ICT (Information Communication Technologies);
- condividere esperienze e problemi sulla disseminazione, nei paesi dei partecipanti, dei metodi proposti;
- esplorare possibilità di comunità virtuali di apprendimento e di pratica.

PHYSWARE ha combinato attività basate su risultati della ricerca educativa con approcci utilizzando materiali a basso costo e tecnologie mature. Si è discusso di cicli di apprendimento e sono stati usati strumenti di diagnosi didattica su nodi concettuali in cinematica e dinamica. Nella prima settimana si sono svolti esperimenti con materiali reperibili nei paesi emergenti, per esempio pendoli come orologi in unità arbitrarie (bulloni, piccoli frutti, palline di argilla, ... come masse e fili di fibra, lenza, cordicelle, ...); moti di biglie su rampe, smorzamento di un pendolo con un fiore di albero di mogano, dapprima intero e poi con i petali rotti e messi insieme per variarne la forma e non la massa, ecc... (fig. 2).

Questo tipo di laboratorio ha suscitato molto interesse per la sua facilità di riproduzione anche in contesti con pochissime risorse. Il coinvolgimento degli studenti nel reperimento di materiali locali, spesso naturali, è riconosciuto come fattore motivante. I partecipanti, in piccoli gruppi (2-3 persone) per sfruttare l'apprendimento tra pari, hanno sviluppato procedure innovative, per apparati e metodi di misura, sfruttando, per esempio, anche i loro cellulari, come misuratori tecnologici di tempo. Nella seconda settimana l'enfasi si è spostata verso l'uso di tecnologie mature e di medio costo, come sensori/trasduttori *on-line* con PC⁴ e sistemi di analisi di *video clip* di moti didatticamente interessanti. È stato discusso anche l'uso di simulazioni, affrontando l'integrazione fra laboratorio e simulazione per favorire l'apprendimento concettuale. I pericoli che possono derivare dalla vicarianza di esperimenti con simulazioni o attività in ambienti virtuali sono stati discussi, questo rischio

⁴ Tre sistemi sono stati usati: COACH, Logger Pro e PASCO, prestati rispettivamente da AMSTEL (NL), Vernier (USA), Gruppo di ricerca in Didattica della Fisica, Università di Udine.

Box 1

R1: Because Europe's future is at stake decision-makers must demand action on improving science education from the bodies responsible for implementing change at local, regional, national and EU level;

R2: Improvements in science education should be brought about through new forms of pedagogy: the introduction of inquiry-based approaches in schools, actions for teachers training to Inquiry Based Science Education (IBSE), and the development of teachers' networks should be actively promoted and supported.

R3: Specific attention should be given to raising the participation of girls in key school science subjects and to increasing their self-confidence in science.

R4: Measures should be introduced to promote the participation of cities and the

local community in the renewal of science education in collaborative actions at the EU level aimed at accelerating the pace of change through the sharing of know-how. *R5:* The articulation between national activities and those funded at the EU level must be improved and the opportunities for enhanced support through the instruments of the FP and the programmes in the area of education and culture to initiatives such as Pollen and Sinus-Transfer should be created. The necessary level of support offered under the Science in Society (SIS) part of the FP7 for Research and Technological Development is estimated to be around 60 ml euros over the next 6 years.

R6: A EU Science Education Advisory Board involving all stakeholders, should be established and supported by the EU Commission within the SIS framework.



Fig. 2 Smorzamento di un pendolo, accelerometro, esperimenti in tempo reale.

essendo verosimile in situazioni con scarsi laboratori e/o insegnanti con poca esperienza sperimentale. Molto proficuo è stato il lavoro in piccoli gruppi su progetti proposti dai partecipanti, spesso su argomenti diversi da quelli discussi, come una proposta di finanziamento e un programma di formazione per futuri insegnanti. Nei progetti c'è stata intensa condivisione fra partecipanti ed organizzatori. I progetti sono stati sintetizzati in poster e/o presentazioni *Power Point* e quasi tutti condivisi attraverso un *blog* realizzato da una partecipante.

Il tema complesso del ruolo della tecnologia nella didattica della fisica è emerso più volte, anche con alcuni fraintendimenti comuni, come l'idea che la tecnologia *di per sé* possa risolvere i problemi didattici, che sia condizione necessaria per una buona didattica della fisica, che occorra concentrare le risorse sull'acquisizione di supporti tecnologici. Questo tema, molto dibattuto nel passato, riemerge ancora oggi nei paesi in via di sviluppo, sia per l'invasiva presenza del mercato sia per una tendenza a esportare e/o imitare pratiche dei paesi ricchi. In realtà una visione più matura va oltre la contrapposizione fra quella (che potremmo chiamare *tecnologista*) che vede la tecnologia come fattore indipendente di innovazione educativa e quella (che potremmo chiamare *umanista*) che vede la tecnologia come strumento per attuare modalità innovative di apprendimento concepite in termini indipendenti dalla tecnologia. In realtà fra tecnologia e scienze educative esiste un rapporto di reciproca fecondazione capace di portare ad innovazioni educative che non sarebbero possibili né con un approccio di tipo "tecnologista" né con uno di tipo puramente "umanista". In PHYSWARE il confronto su questi temi è risultato particolarmente significativo per la sua influenza sulle concezioni di fondo alla base dei processi di innovazione educativa.

Il laboratorio con materiali facilmente reperibili e a basso costo ha suscitato forte interesse. Per esso un riferimento importante è stata l'esperienza pluriennale che il gruppo di ricerca DF/ICT [4] sta svolgendo nel progetto GULUNAP tra l'Università "Federico II" di Napoli e quella di Gulu in Nord Uganda. A Gulu nel 2002 è stata fondata l'Università, come segno di speranza e fiducia in una zona devastata da decenni di guerra fra l'esercito governativo e l'Esercito di Resistenza del Signore (LRA) e dove ancora più di un milione di ugandesi vivono, in condizioni disumane, in campi profughi (*Internally Displaced People camps*). Nel 2004 l'Università di Napoli ha fondato a Gulu una Facoltà di Medicina [5] e da allora interviene anche a sostegno della Facoltà di Educazione Scientifica per la preparazione degli insegnanti delle scuole secondarie, anch'esse devastate dalle stragi. GULUNAP-Scienze forma futuri insegnanti ed insegnanti in servizio, che spesso non hanno né preparazione adeguata né risorse. Anche qui ci siamo riferiti alle raccomandazioni del Piano di

Azioni della WCPD. Nel 2006 il primo NUTS (*North Uganda Teachers of Science workshop*) ha formato una quarantina di insegnanti di fisica delle scuole del distretto di Gulu. Per una settimana, in immersione totale, questi insegnanti hanno integrato discussioni su nodi concettuali di base e laboratorio con materiali locali/riciclati (per esempio costruzione ed uso di telemetri di legno, per rilevare angoli e distanze, sono serviti per affrontare misura, errori, ed anche collegarsi alle pratiche edilizie locali). Ogni insegnante è tornato a scuola con alcuni apparati facilmente riproducibili e disseminabili, p. es. camere oscure, pendoli, manometri, sterilizzatori d'acqua solari... (fig. 3).

Stiamo ora programmando NUTS 2 e 3 per coinvolgere insegnanti di fisica anche da altri distretti nord-ugandesi, specialmente quelli che hanno studenti provenienti dai campi profughi. L'obiettivo è iniziare una catena di formazione che favorisca il passaggio da una memorizzazione di formule alla costruzione di conoscenza disciplinare attraverso apprendimento attivo con molte attività di laboratorio (a basso costo, con sensori, con apparati tradizionali, ...).

3 Uso delle "social technologies" per la crescita di PHYSWARE

Durante PHYSWARE si è avuto un alto interesse, teorico e pratico, per la comunicazione mediata da tecnologia. In particolare è stato utilizzato un *blog* spontaneamente creato da una partecipante sudamericana, e un'area "wiki" appositamente creata in previsione del corso. Ciò ha dimostrato apertura e predisposizione verso forme di comunicazione di gruppo indipendenti da fattori spazio/temporali e ha lasciato intravedere la praticabilità di processi di sviluppo di competenze professionali basate su comunità di pratica interagenti in ambito virtuale, il solo modo, a quanto oggi appare, per affrontare in modo operativamente ed economicamente efficace, il problema della formazione continua su scala medio-grande. La formazione in presenza non è più vista soltanto come un momento intensivo di acquisizione di competenze, ma anche, o forse soprattutto, come momento di fondazione e di progettazione dell'attività a distanza, che per sua natura si sviluppa su archi temporali molto più lunghi. I vantaggi della collaborazione a distanza sono stati evidenziati da molte ricerche nel settore della CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning*) (vedi box 2). Per PHYSWARE va evidenziato l'ulteriore vantaggio del reciproco sostegno fra insegnanti che altrimenti si troverebbero isolati proprio nel momento più critico quando, tornati nel loro contesto, devono portare nelle classi o disseminare le pratiche e i metodi innovativi appresi. In PHYSWARE è emersa fortemente l'esigenza di costituire una *Community of Learning and Pratiche* (CoLaP) per continuare l'interazione e stabilizzarla, costituire

e rinforzare comunità locali, ottenere risultati concreti nei diversi contesti, ecc... Nello sviluppo di questa CoLaP nuove persone e paesi entreranno man mano, attraverso la serie dei *workshop*; si costituiranno filoni coerenti con culture e contesti locali, pur nell'ambito di una cornice unitaria. Le competenze condivise/acquisite permetteranno di produrre attività di classe e laboratorio, piani pedagogici, procedure/strumenti di valutazione, incontri, documenti, ...

4 Conclusioni e sviluppi futuri

Il successo di PHYSWARE è stato indicato dalla valutazione finale, dal coinvolgimento dei partecipanti e dall'interesse per i materiali distribuiti: libri da John Wiley Inc., ICTP, IUPAP-ICPE, Indian Academy of Science; Logger Pro *software* e qualche *hardware* da Vernier International; *software* da COACH AMSTEL. La rete costituitasi ha ottimi insegnanti e formatori di insegnanti che conoscono bene i problemi della formazione in fisica nei loro paesi. Costoro hanno acquisito competenze per adattare l'impostazione di PHYSWARE a specifici problemi e contesti; diversi hanno piani per un loro ruolo attivo localmente.

Un piano quinquennale di azioni è in via di presentazione all'ICTP. È articolato in cinque componenti: 1) Organizzazione di uno o due PHYSWARE all'anno, per affrontare sia contenuti di base che di ricerca attuale e sue applicazioni adatte all'educazione terziaria, sempre nell'ambito di una visione costruttivista e con enfasi sull'uso di apparati a basso costo e tecnologie mature. Questi PHYSWARE vanno svolti a Trieste e in paesi emergenti per affrontare contesti specifici ed anche usare risorse locali rilevanti per lo sviluppo regionale. 2) Integrare moduli di Physics Education nei programmi attuali dell'ICTP, come *Diploma and Post Graduate Programmes*. 3) Creare Associati ICTP anche per *Physics Education*, secondo la tradizione collaudata per altri campi di ricerca.

Box 2

Il campo di ricerca del CSCL per sostenere gruppi che condividono obiettivi di apprendimento e crescita professionale è relativamente recente, può essere utile accennarne. Esso integra la formazione in presenza (localizzata spazialmente e temporalmente) con la collaborazione nella comunità virtuale (spazialmente distribuita e asincrona). C'è accordo generale su CSCL come strumento necessario per far evolvere le competenze professionali al passo con il crescente sviluppo scientifico/tecnologico e con i cambiamenti sociali. Ciò che di fatto accade è la crescita graduale di una comunità virtuale di persone che non solo condividono esperienze, risorse, informazioni, ..., ma in più costruiscono nuova consapevolezza di problemi e soluzioni. Una *Community of Learning and Practice* (CoLaP) è simultaneamente luogo

dove nasce nuova conoscenza e dove si deposita conoscenza in evoluzione. Costruirne una non è un problema meramente tecnologico (quale *software* usare, come imparare ad usarlo, ..) ma piuttosto significa acquisire atteggiamenti cooperativi e creativi, impegnarsi per la comunità, percepire e sostenere i suoi valori, concordare un vocabolario comune, essere disponibili a risolvere possibili conflitti, ... Una CoLaP non nasce spontaneamente una volta disponibile il supporto tecnologico; occorre pianificare attentamente il suo decollo, rodaggio e stabilizzazione; sono necessari facilitatori esperti di contenuti disciplinari e dinamiche sociali. Analogamente a quanto succede in altri campi, l'introdurre tecnologia non è condizione sufficiente per migliorare la formazione insegnanti.

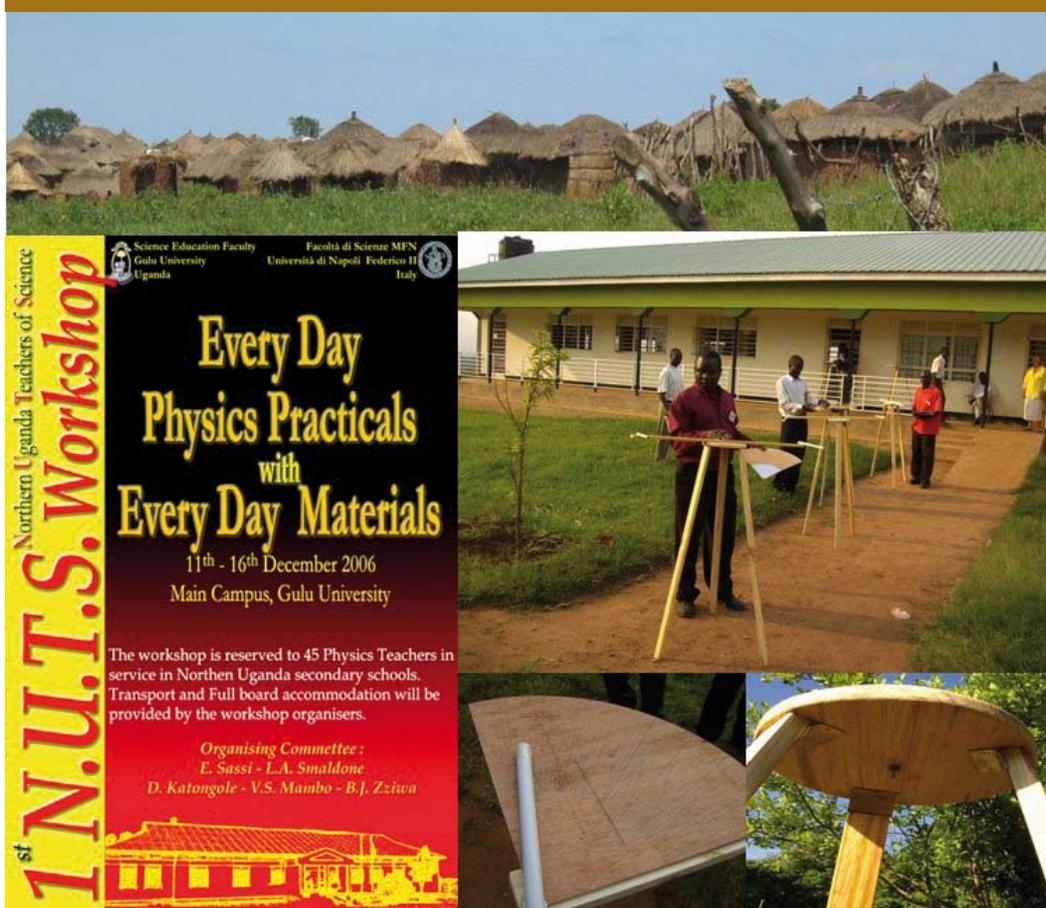


Fig. 3 NUTS: formazione insegnanti di fisica in servizio in nord Uganda.

4) Stabilire una CoLaP internazionale fornendo infrastrutture e servizi. Questa comunità di pratica fungerebbe da giacimento di risorse di qualità per la formazione in fisica, specialmente per i paesi emergenti. 5) Ricercare fondi per il piano d'azione quinquennale.

Oltre all'ICTP, occorre che diverse istituzioni legate alla formazione in fisica, prendano interesse e parte al progetto PHYSWARE, almeno inizialmente attraverso la partecipazione/supporto ad un Comitato presso l'ICTP, per esempio EPS-PED, GIREP, AAPT, ESERA. In particolare la SIF ha un importante ruolo da svolgere, non solo per i legami con l'ICTP ma anche per la sensibilità verso i temi della formazione. La formazione insegnanti di fisica svolge un ruolo importante sia nei paesi in via di sviluppo sia in quelli industrializzati, ed occorre impegnarsi per migliorare la sua qualità, se si intende contribuire allo sviluppo della Società della Conoscenza.

Ringraziamenti

Si ringrazia Giorgio Olimpo dell'Istituto Tecnologie Didattiche, CNR, Genova, per commenti e suggerimenti.

Bibliografia

- [1] <http://www.pisa.oecd.org>,
<http://nces.ed.gov/timss/>,
<http://www.ils.uio.no/english/rose/about/rose-brief.html>
- [2] http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf
- [3] M. Vicentini e E. Sassi (a cura di), "Connecting Research in Physics Education with Teacher Education, Volume 2", (International Commission on Physics Education, <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/index.html>) 2008; A. Tiberghien, E. L. Jossem, J. Barojas (a cura di), "Connecting Research in Physics Education with Teacher Education", (International Commission on Physics Education, <http://web.phys.ksu.edu/icpe/Publications/index.html>) 1998.
- [4] S. Lombardi, G. Monroy, E. Sassi, I. Testa, Gruppo di ricerca in Didattica della Fisica sostenuta da ICT:
<http://www.fisica.unina.it/Gener/did/did.html>
- [5] <http://www.gulunap.unina.it/index.htm>

Elena Sassi

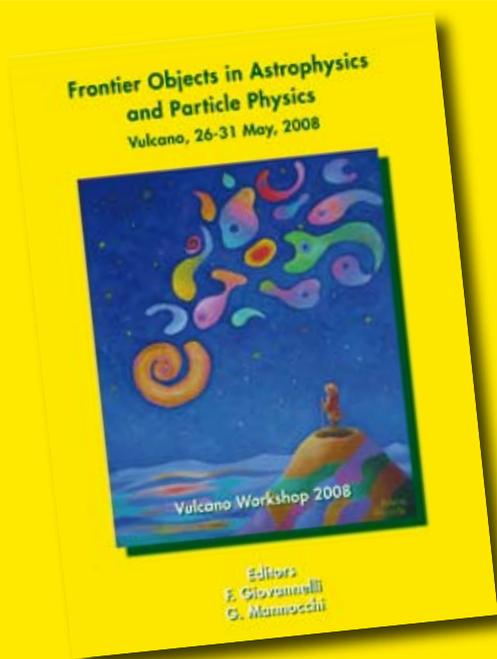
È Professore Ordinario di Didattica della Fisica, Facoltà di Scienze, Università "Federico II", Napoli, e coordina il gruppo "Didattica della Fisica e Information-Communication Technology (DF/ITC)". Ex-ricercatrice in Particelle Elementari (CERN, Frascati), ha partecipato alla scoperta della J/ψ . Ex-presidente del CCL in Fisica. Ha partecipato a diversi progetti EU su temi di formazione in fisica; attualmente lavora in *Material Science University-School partnerships for research-based modules on Material Properties*. È stata più volte valutatore di progetti EU. È componente della *Physics Education Division* della EPS e della *International Commission for Physics Education (ICPE)* della IUPAP. Ha pubblicato un centinaio di contributi su riviste con referee e atti di congressi internazionali.



ATTI DI CONFERENZE CONFERENCE PROCEEDINGS

Vol. 98 - Vulcano Workshop 2008 Frontier
Objects in Astrophysics and Particle Physics

F. Giovannelli and G. Mannocechi
Vulcano, 26-31 May 2008
Pag. 644, Price EUR 123,00
Prezzo Soci EUR 98,40



BREVE CRONACA DEL COUNCIL EPS 2009



Physikzentrum Bad Honnef.

Il *Council* dell'*European Physical Society* (EPS) si è tenuto quest'anno dal 27 al 28 marzo, a Bad Honnef, una cittadina vicino a Colonia, lungo il Reno, sede di un famoso centro di fisica della società di fisica tedesca, la *Deutsche Physikalische Gesellschaft* (DPG). Il *Council* è la riunione annuale in cui Presidente, membri dell'*Executive Committee* (ExCom) e Segretario Generale dell'EPS, insieme ai numerosi presidenti delle società di fisica europee, ai rappresentanti dei membri associati e individuali dell'EPS e ai capi delle "divisioni" e "gruppi" dell'EPS, si riuniscono per fare il punto dello stato economico della società e delle sue varie attività. Vengono inoltre nominati durante il *Council* i nuovi "EPS fellow" e viene assegnato il Premio "Gero Thomas" a chi abbia dato importanti e preziosi contributi alla società stessa.

Il *Council* è iniziato con due sessioni parallele. In quella dedicata alle società di fisica europee, hanno parlato in merito alla crescita delle società scientifiche il Presidente della SIF, Luisa Cifarelli, sull'importanza del reclutamento dei giovani e il Presidente della DPG, Gerd Litfin, sull'importanza del coinvolgimento dell'industria. La seconda sessione parallela è stata dedicata alle "divisioni" e ai "gruppi". Queste sono le componenti più vicine alla ricerca, la spina dorsale dell'EPS, animate da fisici di grande livello, cui compete l'organizzazione di conferenze e *workshop* su scala internazionale. La differenza tra la nomenclatura di "divisioni" oppure "gruppi" risiede nel fatto che le prime abbracciano vasti settori della fisica mentre i secondi richiedono competenze specifiche. Ogni *chairman* di divisione ha il compito di scrivere e presentare al *Council* un rapporto annuale secondo uno schema ben definito, messo a punto tre anni fa dal Presidente uscente (ora Vice Presidente) Fritz Wagner sulla base della sua lunga esperienza di lavoro nella *Plasma Physics Division*, per ottimizzare la struttura del *Council* e agevolare il dialogo tra fisici che vivono e operano in contesti molto diversi. Nel rapporto sono evidenziate le parti di interesse comune: attività svolte e programmate, riunioni del *board* della divisione, conferenze con relativa statistica, eventuali premi, interscambi con altre divisioni (o altri gruppi) e con le società nazionali di fisica, pubblicazione del materiale delle conferenze, cooperazioni al di fuori dell'Europa, attività speciali ed eventuali note e raccomandazioni. Non da ultimo nel rapporto compare esplicitamente la voce "gender", per rendere conto della presenza femminile all'interno del *board* o tra gli *invited speaker* delle conferenze. È importante riferire che il 2008 ha segnato la fine della divisione JAD (*Joint Astrophysics Division*), dedicata alla fisica solare e astroparticellare; la prima componente ha dato vita a una divisione indipendente (*Solar*

Physics Division), mentre l'altra è stata inserita dentro la divisione HEPP (*High Energy and Particle Physics*). Inoltre, poiché tre anni fa è iniziato un grosso impegno dell'EPS sul tema dell'energia, dapprima come sottogruppo del suo *Technology Group*, da quest'ultimo è gemmato nel 2009 un gruppo indipendente, l'*Energy Group*, che ha anche il compito di coordinare il bel lavoro che le varie società, tra cui la nostra, stanno svolgendo in questo settore. La SIF è stata tra le prime a ospitare un workshop di questo gruppo, a Varenna il 7-8 aprile 2008, i cui risultati sono scaricabili sia dal sito web dell'EPS sia da quello della SIF (http://www.eps.org/activities/projects/eps_energy_perspectives.pdf/view).

La discussione al *Council* è stata molto vivace, molti gli interscambi su svariati argomenti: pubblicazioni di *proceedings*, riviste speciali su argomenti selezionati e lavoro svolto per i "position paper" dell'EPS. Questi sono uno strumento molto interessante per una società come l'EPS, in cui esperti di vari settori hanno l'opportunità di formulare un giudizio articolato su problemi complessi, a volte di grande interesse anche per il grande pubblico, come l'energia e il clima, oppure l'insegnamento della fisica. I "position paper" dell'EPS possono essere consultati al sito web: <http://www.eps.org/about-us/position-papers/?searchterm=position%20papers>. La riunione del *Council* è proseguita in forma plenaria, con i contributi del Segretario dell'ExCom Victor Velasco, del Tesoriere Peter Melville (che *ad interim* ha preso il posto di John Beeby, improvvisamente scomparso all'inizio del 2009) e del Segretario Generale David Lee. Vi sono stati poi vari altri interventi. Ove Poulsen ha parlato del *Forum Physics and Society* dell'EPS, che affronta i vari aspetti della figura del fisico in relazione alla società in evoluzione. Creato pochi anni fa, questo *Forum* sta diventando sempre più incisivo. Da segnalare quest'anno l'interessante tema affrontato: "A new deal between science teaching and science and society: *Physics in schools*" (15-16 aprile 2009, Ratnieki, Lettonia). Martin Huber ha parlato dei festeggiamenti per i 40 anni dell'EPS e della prossima conferenza EPS-14. Martina Knoop (che da quest'anno sostituisce nell'ExCom Françoise Masnou che ha dovuto dimettersi per motivi familiari) ha discusso un problema molto attuale nel campo dell'editoria scientifica, quello dell'"open access". Io ho fatto una sintesi della sessione parallela con divisioni e gruppi. Peter Schuster (*History of Physics Group*) e Thomas Hamacher (*Energy Group*) hanno parlato dell'interessante lavoro svolto durante il 2009 nell'ambito dei gruppi da essi rispettivamente presieduti. Sono state infine riferite le attività di alcuni dei vari comitati dell'EPS, che gestiscono finanziamenti o borse di studio per studenti

per garantirne la mobilità o la partecipazione a conferenze, oppure per avallare l'appoggio e il supporto dell'EPS riguardo all'organizzazione di conferenze e all'integrazione europea.

Ana Proykova, in particolare, ha riferito di come stia cercando di rinverdire il *Gender Equality Committee*.

Sono state anche tenute due interessanti relazioni su invito.

Sven Kullander, accademico svedese, *chairman* dell'*Energy Committee* della *Royal Swedish Academy of Sciences*, ha parlato del futuro delle risorse energetiche. Barbara Kehm, dell'istituto INCHER dell'Università di Kassel, impegnata nell'internazionalizzazione e nello sviluppo del dottorato di ricerca in Europa, ha parlato dell'implementazione del cosiddetto "*Bologna process*", che ha lo scopo di uniformare l'insegnamento europeo e permettere la mobilità degli studenti tra le varie università. Ha illustrato, in particolare, lo studio realizzato sotto l'egida dell'EPS tramite questionari distribuiti a tutte le società nazionali di fisica per fare il punto sull'implementazione a livello locale di questo processo.

Un altro evento di rilievo è stato infine il passaggio di consegne tra il Presidente uscente Fritz Wagner (*Max Planck Institute of Plasma Physics, Greifswald*) e il Presidente eletto Maciej Kolwas (*University of Warsaw*).

Il nuovo Presidente è molto attivo sui problemi dell'insegnamento della fisica e sui mezzi di comunicazione, tipo il web che finora non è stato a suo parere abbastanza sfruttato dall'EPS. Inoltre Kolwas è capace di un forte dialogo con alcune società nazionali che si sono allontanate dall'EPS negli ultimi anni. A Wagner si deve un grande lavoro sia per facilitare e ottimizzare le relazioni tra le varie componenti dell'EPS sia per promuovere iniziative di alto profilo, come quella sull'energia, che hanno grandemente rafforzato la società e il suo impatto sul piano europeo. Infine, con nostra grande soddisfazione, sono stati nominati i nuovi "*EPS fellow 2009*" di cui tre italiani: Carlo Bemporad (Università di Pisa), Caterina Biscari (Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN) e Marcello Giorgi (Università di Pisa). Per maggiori dettagli:

<http://www.eps.org/eps-members/list-of-eps-fellows/?searchterm=eps%20fellows>. Qualche giorno dopo la riunione di Bad Honnef, è anche giunta la notizia dell'elezione di Giorgio Guizzetti (Università di Pavia) come rappresentante al *Council* dei membri individuali dell'EPS.

Angela Di Virgilio
Membro dell'*Executive Committee* dell'EPS

RIFORMA DEI SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI: A CHE PUNTO SIAMO

Avvendo avviato al suo interno e nella comunità dei fisici un dibattito in merito alla riforma dei Settori Scientifico-Disciplinari (SSD) dell'Università, la SIF ritiene doveroso pubblicare la seguente breve nota informativa sulla questione.

La discussione sulla riforma dei Settori Scientifico-Disciplinari (SSD) ha di recente subito un'accelerazione, soprattutto a causa dei segnali provenienti dal mondo politico: sia il governo che l'opposizione hanno lasciato intendere una forte volontà di intervenire sui meccanismi concorsuali (si va verso l'abilitazione nazionale seguita da concorso locale), e hanno indicato a tal fine l'esigenza di una riduzione drastica del numero di SSD. Se tale riduzione non risultasse da un intervento autogestito dalla comunità accademica essa potrebbe essere imposta da un provvedimento di legge.

Il dibattito sull'argomento era già da tempo avviato tra i fisici, soprattutto grazie all'azione della SIF, ed era approdato verso soluzioni che per molti aspetti restano ancora valide, come l'idea di un più stretto ancoraggio degli SSD alle differenti tipologie e contesti di ricerca, e l'individuazione di un limitatissimo numero di ambiti ("INTERAZIONI FONDAMENTALI", "MATERIA" e "ASTRO") entro i quali collocare SSD tra loro affini, ridefiniti nei contenuti ma non drasticamente ridotti di numero. Tuttavia alcune ipotesi di lavoro non sono più attuali, perché espunte dall'agenda del CUN soprattutto al fine di evitare un allargamento della discussione, poiché oggi l'esigenza più forte è quella di convergere rapidamente a una soluzione che preceda, e precostituisca, le decisioni della politica.

In particolare è ormai saltata ogni possibilità di definire (almeno in questa fase) ambiti interdisciplinari, che avrebbero permesso la risoluzione dei problemi posti dall'esistenza di alcuni SSD numericamente molto piccoli ma caratterizzati da ovvie affinità ad altre aree scientifiche (in particolare FIS/06 e FIS/08).

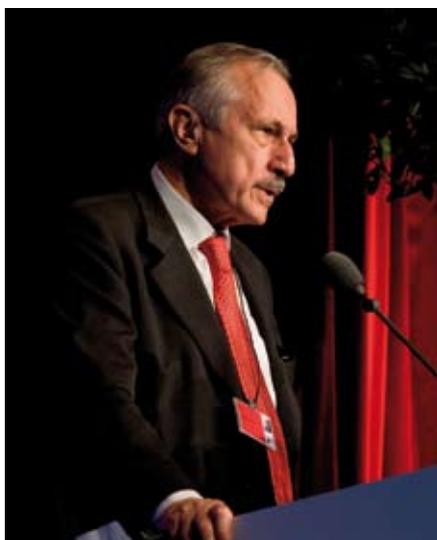
Il valore di riferimento col quale siamo oggi chiamati a fare i conti è quello di un minimo di una cinquantina di professori ordinari per SSD. L'unico strumento rimasto per salvaguardare l'identità culturale dei piccoli settori è nel quadro attuale l'introduzione di un "Descrittore" che tiene traccia della vecchia denominazione e può (nel modello CUN) essere utilizzato sia per la costituzione delle commissioni sia come giustificazione della scelta dei chiamati in sede di concorso locale. L'ipotesi di lavoro su cui il Comitato d'Area per la Fisica prosegue la propria elaborazione è quindi oggi incentrata sulla definizione di sei Settori Scientifico-Disciplinari, ognuno dei quali avrebbe più di 50 ordinari e quindi piena autonomia concorsuale. Ai soli fini di individuazione delle affinità (eventualmente necessarie nel caso di drastica riduzione del numero degli ordinari) gli SSD sono raggruppati in tre ambiti: quello di FISICA DELLE INTERAZIONI FONDAMENTALI, che comprende due SSD (sperimentale e teorico); quello di FISICA DELLA MATERIA, che si articola in tre SSD (sperimentale, teorico e applicato); e infine l'ambito ASTRONOMICO-ASTROFISICO (ASTRO), che contiene un solo SSD. Il Descrittore "Didattica e Storia della Fisica" potrebbe essere inserito nei due SSD teorici, il Descrittore "Fisica Nucleare" verrebbe inserito nei due SSD (teorico e sperimentale) dell'ambito di INTERAZIONI FONDAMENTALI, e il Descrittore "Fisica della Terra" sarebbe abbinato (in mancanza di soluzioni migliori) all'SSD dell'ambito ASTRO. Ci troviamo di fronte a uno schema già abbastanza rigido, non tanto per motivi di natura concettuale quanto per banali considerazioni numeriche: nessuno dei gruppi sopra individuati da un Descrittore arriva a dimensioni conformi a quelle che ci vengono di fatto imposte, e già tre dei sei SSD proposti contano meno di 80 ordinari, un valore purtroppo non immune da sollecitazioni a ulteriori accorpamenti.

Paolo Rossi
Rappresentante dell'Area Fisica al CUN

INTERVISTA A CARLO RIZZUTO



Carlo Rizzuto, Professore di Fisica dello Stato Solido alla Facoltà di Ingegneria di Genova, è Presidente della Società Sincrotrone Trieste e Membro del Comitato Italiano per la Valutazione della Ricerca. Dal marzo 2008 è Presidente del Forum Europeo Strategico per le Infrastrutture di Ricerca (ESFRI), di cui è stato iniziatore e membro come delegato del Governo Italiano. Fra i numerosi incarichi precedenti, come Membro e Presidente di organi di Ricerca nazionali e internazionali in particolare nel campo della Ingegneria Criogenica, della Fisica e del *Policy Advice*, Rizzuto è stato anche Fondatore dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia e delle Società "ReteVentures" e "Quantica SgR" dedicate al trasferimento tecnologico e al *Venture Capital* per l'Impresa della Ricerca.



ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures)

È l'organismo nato nel 2002 per favorire la formazione di una rete europea delle infrastrutture di ricerca integrando le risorse dei diversi Paesi in un'Area Europea Comune di ricerca e innovazione. Il Forum riunisce rappresentanti degli Stati Membri dell'Unione Europea e degli Stati Associati, nominati dai ministri della ricerca in carica, e un rappresentante della Commissione Europea. Obiettivo principale: sviluppare politiche coerenti per dotare l'EU delle grandi infrastrutture più avanzate per il servizio internazionale in tutti i campi di ricerca.

Il sito dell'ESFRI:

<http://cordis.europa.eu/esfri/>

INFRASTRUTTURE DI RICERCA: LA NUOVA EUROPA DELLA CONOSCENZA

Professor Rizzuto, ci spiega che cosa sono le infrastrutture di ricerca internazionali?

Sono centri capaci di attrarre i migliori ricercatori a livello mondiale, ospitandoli ed offrendo loro l'ambiente più adatto, gli strumenti migliori e le tecnologie più avanzate. Questo in tutti i campi scientifici e con un'unica discriminante: la qualità del loro lavoro.

Può farci qualche esempio?

Le biblioteche medievali, in grado di preservare e di diffondere la cultura romana, greca e araba sono il primo esempio di vera infrastruttura di ricerca, che ha contribuito – garantendo l'accesso libero alle migliori menti del tempo – a porre le basi del Rinascimento del mondo occidentale. Gli altri esempi, facendo un salto in avanti nel tempo, sono i Laboratori come il CERN di Ginevra, l'EMBL di Heidelberg e gli osservatori astronomici dell'ESO, ma anche molti altri laboratori nazionali, collezioni, banche dati, che sono aperti sulla base della qualità. Oggi questo modello si sta estendendo sempre di più a ogni ambito di ricerca, scientifica, e a diverse realtà e istituzioni, come il Sincrotrone di Trieste o l'Opificio delle pietre dure di Firenze, per restare in Italia.

Quindi tutti questi laboratori sono accomunati dal fatto di essere centri di aggregazione e di sviluppo del sapere?

Senz'altro, ma anche dal fatto di possedere un clima di grande stimolo all'inventività che nasce dalla competitività internazionale e

che si traduce, oltre che in risultati scientifici di alto livello, nello sviluppo di nuovi metodi, tecnologie, processi e nella formazione di ricercatori e tecnici di alto livello. Tra le invenzioni ricordo il World Wide Web inventato al CERN o i sensori fotografici CCD sviluppati per l'astronomia. Questo aspetto ha una grande importanza dal punto di vista delle ricadute economiche.

...e spiega la grande attenzione dell'Unione Europea allo sviluppo delle infrastrutture di ricerca internazionali?

Quella della collaborazione internazionale ai massimi livelli di qualità è l'unica e più efficace strategia che possa rendere competitivo e attrattivo a livello globale lo Spazio Europeo della Ricerca. Questo permette di superare la frammentazione nazionale e aumenta anche la collaborazione tra ricerca di base e industria e i risultati di interesse economico. L'Europa l'ha capito e sottoscritto, con l'agenda di Lisbona prima e di Lubiana poi. L'ESFRI è stato costituito e ha prodotto una *roadmap*, proprio come stimolo a tutti i paesi per rispondere concretamente a questa forte esigenza.

Che cos'è la "Roadmap dell'ESFRI"?

È una proposta a tutti i paesi europei, per favorire l'integrazione e lo sviluppo strategico di questi laboratori, la mobilità dei ricercatori e il loro accesso comune alle migliori tecniche e basi di dati. Il suo aggiornamento, pubblicato l'anno scorso dopo la prima edizione del 2006, segnala

come strategici 44 progetti scelti su oltre 250 proposti dai governi, attraverso un accurato sistema di *peer review*, per altrettante infrastrutture in tutti i campi di ricerca, dalle Scienze Umane e Sociali alle Scienze Ambientali e Fisiche, con una forte componente delle Scienze Biomediche e con grande attenzione alle grandi sfide del nostro tempo, come l'ambiente, la salute, il cibo e l'energia.

Un piano di questa portata genera certamente grandi aspettative: quale può essere, in concreto, l'impatto per l'Europa?

Credo che l'investimento mirato in queste infrastrutture di ricerca internazionali, potenziando come ho detto lo stimolo all'invenzione di nuovi processi e tecnologie, possa produrre e rinforzare una nuova generale domanda di alta qualità, contribuendo quindi al rilancio dell'industria e dell'impresa *hi-tech*. Se scegliamo di muoverci in questa direzione abbiamo la possibilità di trasformare questo momento di crisi in un'opportunità e di contribuire alla costruzione anche industriale di una nuova Europa.

Credo che solo con l'unione armonica dei singoli sforzi, e con regole di qualità e selezione internazionale, saremo in grado di garantire il futuro competitivo del nostro continente, stimolare l'innovazione e potenziare il trasferimento tecnologico.

Luisa Cifarelli

IN RICORDO DI

Ileana Iori



Il 28 gennaio di quest'anno, a Bormio, proprio durante il 47^{mo} Meeting Internazionale di Fisica Nucleare, da lei come sempre promosso e organizzato, è mancata Ileana Iori. A Bormio è stata sepolta così come lei stessa avrebbe voluto per dare alla sua vita l'epilogo più naturale. Ileana è stata il cervello e l'anima del Convegno di Bormio fin dal 1972 quando il *Winter Meeting on Nuclear Physics* si trasferì da Villars a Bormio sotto la sua direzione scientifica. Bormio divenne così la sede naturale degli incontri invernali di Fisica Nucleare, e riferimento internazionale per una intera comunità scientifica. Ileana ci ha lasciato improvvisamente, quasi a volersene andare con il minimo disturbo, discretamente, come discretamente ha vissuto. Eppure era ancora nel pieno del suo vigore intellettuale ed umano, lei così minuta ma così dinamica e vigorosa, capace di unire una profonda interiorità culturale ed umana con una "verve" vitale e addirittura contagiosa, tale da approfondire una consapevole gioia di vivere, di esserci, sia pure "condita" di una sottile e finissima

ironia.

Nata a Reggio Emilia nel 1931, laureatasi a Modena in Fisica nel 1954, borsista e poi assistente volontaria in tale sede, iniziò il suo tirocinio milanese a partire dal 1957 prima al CISE e poi all'Università Statale trasferendosi nel 1967 presso l'Istituto di Fisica come Professore incaricato; Libero docente di Fisica Nucleare nel 1963, divenne Professore aggregato nel 1969 e nel 1973 Professore ordinario fino al collocamento in pensione nel 2006. È stata direttore della Sezione INFN di Milano (1979-1982) e Presidente del Consiglio del corso di laurea in Fisica (1989-1991). Era Socio Benemerito della SIF.

Ha tenuto corsi di Fisica generale e di Fisica Nucleare impegnandosi altresì in attività di docenza per la Scuola per Insegnanti delle Scuole Secondarie della Lombardia. Non è facile enumerare i contributi, di notevole rilievo, nei suoi 55 anni di attività scientifica, nella quale ha profuso le sue doti di ricercatrice sperimentale di prim'ordine. Va ricordato il suo lavoro al CISE, nell'ambito delle ricerche di frontiera nel campo della fisica delle reazioni nucleari dei gruppi milanesi, allora diretti da Ugo Facchini e Laura Colli, con i vecchi e gloriosi acceleratori elettrostatici, e la partecipazione negli anni 1965-80, alle numerose e importanti ricerche sui processi statistici e diretti indotti da reazioni nucleari con i fasci di protoni prodotti dal Ciclotrone AVF da 45 MeV.

La sua versatilità e le sue doti sperimentali la portarono in seguito (anni '80 e '90) a collaborare intensamente con i gruppi dei Laboratori Nazionali di Legnaro impegnati in

ricerche avanzate presso l'Acceleratore Tandem da 16 MV, condividendo risultati importanti sui processi dissipativi e di fissione-fusione nelle collisioni di bassa energia tra nuclei di massa media.

Dopo il 1990 Ileana si occupò gradualmente di esperimenti a più alta energia presso altri Laboratori Nazionali, allargando il campo delle collaborazioni nazionali e internazionali dai Laboratori del Sud a Berkeley, al MSU, a GANIL, al GSI, con particolare riguardo alle transizioni di fase e alle proprietà adroniche della materia nucleare.

Ileana ha portato in tutte le collaborazioni cui ha partecipato, disponibilità e mirabile spirito cameratesco, grandi competenze e capacità professionali che ne facevano una persona di riferimento per i ricercatori più giovani: la sua attività, compendiate in circa 150 pubblicazioni, è la manifestazione concreta della sua cultura scientifica, delle sue conoscenze specifiche profonde e della sua personale capacità di realizzazione di strumentazioni innovative

Come noi, molti altri ricercatori che hanno avuto la fortuna e il piacere di collaborare con lei non potranno non ricordare con profonda commozione questa mirabile figura di donna e scienziata con la consapevolezza di essere stati vicini ad una presenza indimenticabile.

Renato Angelo Ricci
Università di Padova
Presidente Onorario SIF

Marcello Pignanelli
Dipartimento di Fisica, Università di Milano



XLVII INTERNATIONAL WINTER MEETING ON NUCLEAR PHYSICS

BORMIO, ITALY

26-30 JANUARY, 2009

I proceedings del XLVII International Winter Meeting on Nuclear Physics saranno pubblicati dalla SIF nella collana Atti di Conferenze. Il volume sarà dedicato alla memoria di Ileana Iori e raccoglierà, oltre ai contributi scientifici del convegno, anche ricordi di colleghi e amici.

SCIENZA E TECNOLOGIA: IGNORANZA E DISTORSIONI IN DIRETTA TV

Caro Direttore, chi affermasse in diretta TV che Leonardo da Vinci è noto per i suoi studi sulle sculture di Alessandro Manzoni, forse verrebbe ripreso dal conduttore della trasmissione. Perché di arte e di letteratura qualcosina ancora si mastica. Quando si tratta di scienza, invece, è possibile sostenere impunemente le più varie baggianate. Magari mirate a sostenere tesi di parte ed esposte senza possibilità di contraddittorio.

Ma veniamo ai fatti. La trasmissione Report del 29 marzo scorso è stata veramente esemplare per la sua impostazione a tesi, il cui succo è: il nucleare non s'ha da fare. Sicché si è sentita soltanto una serie di "esperti" di parte. Uno dei quali confonde le nozioni di energia e potenza, mentre un altro sentenza a vanvera affermando che il limite di esposizione radiologica è di 1 millisievert, oltre il quale il rischio diventerebbe inaccettabile, quando è noto che la nostra esposizione alla radioattività naturale è mediamente tre volte maggiore, ma si campa tranquillamente anche in regioni dove è fino a 50 volte maggiore! Non parliamo poi dei riferimenti agli incidenti nucleari, le cui vittime ammonterebbero a "centinaia di migliaia". Quando si sa che l'unico vero disastro avvenne alla fangierata centrale Lenin di Chernobyl, provocando, secondo i dati certificati dalle agenzie ONU, 65 morti accertate; mentre altre analisi non ufficiali suggeriscono la possibilità di contare altre vittime, ma non oltre le centinaia. E si arriva poi a sostenere che "secondo l'ultimo rapporto sullo stato dell'industria nucleare, all'utente arriva solo il 2% di tutta l'energia prodotta dentro alle centrali atomiche del mondo", cioè che questa tecnologia sarebbe praticamente inutile! Ma dove finirebbe il restante 98%?

Un altro caso di malascienza in TV riguarda Giuliani, il tecnico che afferma di prevedere i terremoti. A Porta a Porta (7 aprile) non è stato consentito al telespettatore di capire quale fosse effettivamente la tecnica proposta da Giuliani (osservazione delle emissioni di radon) e neppure perché la comunità scientifica, che questa tecnica conosce e studia da tempo, la consideri inefficace in quanto non in grado di stabilire dove e quando il terremoto si manifesterà. Ma perché non si è capito nulla? Per le ripetute interruzioni, spesso polemiche e arroganti, di quanti ignorano i meccanismi di funzionamento della ricerca scientifica, messi a punto nei secoli da Galileo a oggi, che garantiscono efficacia e qualità alla scienza. Cose che evidentemente non rientrano nella loro "cultura".

Quanto ad Annozero del 9 aprile, ci si chiede soltanto cosa avrebbe detto Santoro se le autorità avessero seguito davvero le indicazioni di Giuliani, evacuando il circondario di Sulmona una settimana prima del sisma, magari spostandone gli abitanti nella zona aquilana.

Cordiali saluti,

Giovanni Vittorio Pallottino
Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

Roma, 29 Aprile 2009
OPINIONI Online First - 4 maggio 2009

SULLA RIFORMA DEI SETTORI SCIENTIFICO-DISCIPLINARI

Cara Luisa, nel ringraziarti per l'iniziativa che hai preso sollecitando il rapporto di Rossi che ci hai trasmesso, devo dire che la lettura del rapporto conferma nella maniera più assoluta la preoccupazione che cresceva in me all'idea di un possibile accorpamento dell'attuale settore FIS/08 con il FIS/02, suggerito in qualche modo dalla definizione dell'ambito "teorico e dei fondamentali" già presente nella tabella degli ordinamenti dei corsi di studio della classe fisica. Ora se per la parte storica ed epistemologica esiste indubbiamente un razionale, così non può essere per quella didattica, dove l'ancoraggio a solide basi sperimentali dovrebbe essere fuori discussione. L'esperienza del Progetto Lauree Scientifiche mi sembra dimostri in abbondanza quanto proficua ed importante sia l'introduzione sistematica delle attività di laboratorio sia nello sviluppo delle vocazioni degli studenti, sia nel processo di sedimentazione e di comprensione dei concetti fondamentali della fisica.

Mi domando come sia pensabile che tutti i contributi di ricerca e sperimentazione in questo settore, che hanno sempre visto in prima linea i fisici sperimentali, possano essere ricondotti ed assimilati esclusivamente alle competenze dei fisici teorici delle interazioni fondamentali.

Le ipotesi di revisione dei percorsi di formazione degli insegnanti fanno immaginare che nei prossimi anni si possa prevedere un ruolo crescente in termini di risorse dedicate al settore scientifico disciplinare (SSD), quale esso sia, in cui sarà ricompreso l'ambito didattico. Se oggi tutti i fisici che hanno a che fare con la scuola e con gli insegnanti sentono come il primo dei problemi il fatto che la fisica sia insegnata troppo spesso da laureati in matematica che (oltre a lacune disciplinari che possono essere colmate attraverso lo studio individuale) dimostrano una scarsissima competenza in materia di sperimentazione e di laboratorio, mi domando cosa ci riserverà il futuro se i pochi fisici che andranno ad insegnare avranno una formazione specifica centrata più sulla teoria dei fondamentali che sul metodo sperimentale.

Mi rendo conto della complessità di altre soluzioni, ma non credo che questo sia sufficiente per rassegnarci a una proposta di questo tipo. So che tu hai avuto sempre a cuore i problemi della scuola, ed hai spesso dato contributi importanti al rinnovamento dell'insegnamento della fisica, per cui vorrei prima di tutto conoscere il tuo parere in proposito. Se condividi almeno in parte le mie preoccupazioni, credo che riuscirai a trovare le forme ed i modi più efficaci per portare il problema all'attenzione di tutti i colleghi. In questo ultimo caso sono a tua disposizione per qualunque tipo di contributo.

Con amicizia,

Egidio Longo
Dipartimento di Fisica, Sapienza Università di Roma

Roma, 30 Giugno 2009

Ringrazio Egidio Longo per la sua lettera che pubblico ben volentieri poiché solleva un

problema delicato e degno di nota. Pubblico anche una replica di Paolo Rossi a me indirizzata.

Luisa Cifarelli
OPINIONI Online First - 3 Luglio 2009

Cara Luisa, la preoccupazione che traspare dal messaggio di Longo merita certamente il tentativo di fornire una risposta adeguata.

La scelta di aggregare, con il meccanismo del "Descrittore", i colleghi dell'attuale FIS/08 ai due futuri raggruppamenti teorici non nasce certo dall'idea (ovviamente assurda) che la didattica debba valorizzare solo gli aspetti teorici della fisica, ma dalla ragionata convinzione, che è premessa all'intera operazione di revisione dei settori, che i raggruppamenti debbano fondarsi innanzitutto sulle tipologie di ricerca, perché i settori servono per la valutazione, ed è soprattutto sulla ricerca che dobbiamo essere valutati.

Non penso sfugga a nessuno il fatto che le attività dei colleghi che si occupano di ricerca didattica, anche quando sono di tipo sperimentale, hanno modalità di comunicazione e di pubblicazione più facilmente riconducibili all'esperienza di almeno una parte dei fisici teorici, che tra l'altro spesso nelle Sedi sono tra i più attenti e attivi in relazione alle problematiche didattiche.

Ci sono poi problemi pratici da risolvere, non ultimi quelli, entrambi già correttamente individuati da Longo, che già ora FIS/02 e FIS/08 costituiscono nei decreti sulle classi di laurea (per ora non modificabili) un singolo ambito disciplinare, e che nella stessa comunità FIS/08 stanno anche gli storici della fisica, per i quali l'affinità con FIS/02 è ancor più chiara, per cui una diversa soluzione probabilmente scontenterebbe comunque molti. Ma soprattutto io vorrei che si sgombrasse definitivamente il campo dall'idea che queste operazioni siano finalizzate a "occupare" spazi accademici: le "regole di conversione" dai vecchi settori a quelli nuovi, per quanto riguarda l'attribuzione dei compiti didattici, saranno le più elastiche possibili, fatte salve alcune inevitabili distinzioni di competenze. In particolare escludo fermamente la possibilità di una "riserva" in favore di chicchessia per l'insegnamento nei corsi di formazione degli insegnanti (ammesso e non concesso che si creino davvero opportunità in quest'ambito).

Siamo comunque pronti a valutare nuove proposte che non alterino l'impianto generale degli ambiti (che ha una base addirittura "europea") e che rispettino il vincolo dei 50 ordinari per settore. Si tenga solo conto del fatto che i tempi sono strettissimi, perché la Presidenza del CUN vuole giustamente arrivare a una conclusione del processo di revisione entro luglio.

Un caro saluto,

Paolo Rossi
Dipartimento di Fisica, Università di Pisa
Rappresentante dell'Area Fisica al CUN

Pisa, 2 Luglio 2009
OPINIONI Online First - 3 luglio 2009



G. DRAGONI (EDITOR) - ETTORE E QUIRINO MAJORANA TRA FISICA TEORICA E SPERIMENTALE. CNR, Roma e Società Italiana di Fisica, Bologna; 2008, pp. L+368, € 50,00

La figura di Ettore Majorana non ha mai cessato, anche in relazione alla sua misteriosa e probabilmente tragica scomparsa, di ricevere attenzione da parte di circoli più ampi di quelli formati dagli interessati alle sue ricerche¹. Molto meno nota la figura di Quirino Majorana, anche se ha ricevuto la debita attenzione da chi si è occupato della storia della fisica della prima metà del secolo scorso con un occhio particolare alla situazione italiana. C'è da domandarsi quanti siano al corrente della stretta parentela – Quirino era lo zio di Ettore – fra i due autori, e, più specificamente, della corrispondenza scientifica fra di loro, riprodotta – immagini fotografiche e trascrizione dei documenti originali a cura di Martina Lodi – nella parte centrale del volume. È su questo legame e su questi aspetti che si è focalizzata in modo particolare l'attenzione del curatore – in realtà ben più che questo, come avrò modo di sottolineare – del libro.

Il volume è aperto dalle Prolusioni del Magnifico Rettore dell'Ateneo bolognese Pier Ugo Calzolari, di Luciano Maiani, presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, del compianto Franco Bassani, allora Presidente Onorario della Società Italiana di Fisica, e di Antonino Zichichi, Presidente del Centro Ettore Majorana. Prolusioni che non si limitano ai cenni rituali consueti per queste occasioni. Il Rettore ricorda, in termini puntuali, il ruolo rilevante che ebbe, nella complessa vicenda dello sviluppo edilizio dell'Università di Bologna, la costruzione (1907) dell'edificio

¹ Fra i contributi dei fisici si ricordano debitamente, nel volume oggetto della recensione, quelli di Erasmo Recami e quello, recentissimo, di Francesco Guerra e Nadia Robotti.

che ospita tuttora settori e reparti del Dipartimento di Fisica, soffermandosi, in particolare, sulla figura e il ruolo di Augusto Righi, e ovviamente senza dimenticare che fu in quell'edificio che operò, per lunghi anni, Quirino Majorana. È il caso di sottolineare, a questo proposito, che non a caso, come sottolineato nel risvolto di copertina, il volume ha visto la stampa nell'ambito delle iniziative previste in corrispondenza del centenario della fondazione dell'allora Istituto di Fisica Augusto Righi. Luciano Maiani richiama l'attenzione, in particolare, sulla possibilità, prospettata da Ettore, che un fermione neutro possa coincidere con la sua antiparticella, e sul suo suggerimento che i neutrini potrebbero essere particelle di questo tipo dotate di massa; per ricordarci come la questione sia tuttora di grande attualità, al punto da essere indagata dagli esperimenti in corso che inviano neutrini dal CERN ai Laboratori del Gran Sasso e da quelli previsti all'LHC, la nuova grande macchina del CERN; questo contributo fondamentale di Ettore Majorana è poi analizzato in termini tecnici nella Prolusione di Antonino Zichichi. Quanto a Franco Bassani, egli ci ricorda come la Società Italiana di Fisica abbia pubblicato nel centenario della nascita di Ettore Majorana una raccolta di tutti i suoi lavori a stampa – accompagnati per la prima volta dalla traduzione in inglese –, e si sofferma sui manoscritti, in particolare quelli donati dai familiari di Ettore al Museo di Fisica dell'Università di Bologna, di cui fa parte l'Epistolario presentato e commentato nel libro da Giorgio Dragoni.

Alle Prolusioni seguono brevi Premesse da parte di Renzo Predi, Direttore del Sistema Museale d'Ateneo, che ricorda, fra l'altro, la costituzione, nello spirito che era stato di Righi e Quirino Majorana, di Aule Didattiche presso i Musei Universitari; Paolo Capiluppi, Direttore del Dipartimento di Fisica, che sottolinea come la discussione fra Quirino ed Ettore circa gli esperimenti effettuati dal primo costituiscano un documento unico di metodo scientifico; Antonio Zoccoli, Direttore della Sezione INFN di Bologna, che rievoca, assai appropriatamente, i lavori di Hertz che di fatto costituiscono la scoperta dell'effetto fotoelettrico, che fanno da sfondo, anche se, come egli stesso sottolinea, la cosa non trapela, agli esperimenti sui quali si concentra l'attenzione del libro; e Pasquale Tucci, già Presidente della Società Italiana per la Storia della Fisica e dell'Astronomia, che sottolinea lo scrupolo storiografico e filologico con cui è stato edito il carteggio fra Ettore e Quirino (di qui in avanti, quando appaia opportuno per evitare continue ripetizioni, E e Q).

L'introduzione complessiva al volume è chiusa da due Indirizzi di saluto da parte di membri della famiglia Majorana.

Il corpo centrale del libro si apre con due Note Biografiche dedicate a E e a Q. La prima, dovuta ad Edoardo Amaldi, è un ampio stralcio

dal testo: E. Amaldi, *La Vita e l'Opera di Ettore Majorana (1906-1938)*, Roma, Accademia Nazionale dei Lincei, 1966. La nota biografica dedicata a Q si deve a Giorgio Dragoni. Il testo – riprodotto nel volume per gentile concessione dell'editore – è quello che l'autore aveva redatto poco tempo prima per l'Enciclopedia Italiana (G. Dragoni, *Quirino Majorana*, in *Dizionario Biografico degli Italiani*, Roma, 2006).

E vengo finalmente al nucleo della vicenda alla quale il volume in oggetto dedica la massima attenzione. Essa è narrata nel capitolo – autore, ancora una volta, Giorgio Dragoni – che, non a caso, reca lo stesso titolo dell'intero volume: *Ettore e Quirino Majorana tra fisica teorica e fisica sperimentale*. La sua ricostruzione si basa sull'Epistolario ricordato inizialmente. Si tratta, ci ricorda Dragoni, di 34 lettere ed una cartolina postale scritte da Ettore allo zio Quirino (la gran parte di esse (28) è del tutto inedita; le rimanenti sono state pubblicate da Erasmo Recami alcuni anni orsono) e di 2 lettere (e uno stralcio di lettera) scritte da Quirino al nipote. Salvo una o due eccezioni, come sottolinea Dragoni, la missive scambiate (fra il 1931 e il 1937) riguardano un'intensa collaborazione fra zio e nipote sul tema delle ricerche avviate da Quirino sulla possibile esistenza di nuovi fenomeni fotoelettrici e su effetti di fotoresistenza elettrica in lamine sottili quando siano illuminate da luce opportuna. In un rendiconto complessivo, pubblicato nel 1938, Quirino Majorana scriveva: "Si espone in seguito una teoria dei fenomeni osservati, considerati come dovuti a puro effetto termico. Si rileva infine che i risultati di tale teoria non coincidono sempre con quelli sperimentali. Si conferma così l'ipotesi della reale esistenza di un nuovo effetto della luce su lamine metalliche; tale effetto è quasi sempre accompagnato dal comune effetto termico, e da esso rimane talvolta del tutto coperto." C'è qualcosa qui che non può non destare qualche perplessità nel lettore che abbia qualche familiarità con la lunga storia dell'effetto fotoelettrico, che opportunamente Dragoni ricorda sinteticamente, dalla scoperta di Hertz (1886) all'interpretazione corpuscolare-quantistica di Einstein (1905), che sarebbe stata corroborata dagli esperimenti di Millikan (1916). Dove è finita quella interpretazione; o, in altri termini, di quale "teoria dei fenomeni osservati" sta qui parlando Quirino? La questione è discussa in dettaglio da Dragoni e da Loris Ferrari che, richiesto di un parere, dialoga garbatamente con lui in un limpido saggio che segue quello di Dragoni. Essa è alquanto complessa, e riportarne tutti i termini richiederebbe troppo spazio. Mi limiterò a ricordare che ai fini di una verifica quantitativa, Quirino elaborò, con l'aiuto essenziale di Ettore, un calcolo teorico, esclusivamente termo-classico; esso è ricostruito, in termini precisi e completi, in un contributo di Attilio Forino. Ed è qui che

trovò delle discrepanze, cosa che lo portò appunto ad affermare che si era in presenza di un "nuovo" effetto fotoelettrico. Ora, se si è sotto la soglia di frequenza per l'emissione fotoelettrica, gli elettroni resteranno all'interno del metallo contribuendo, con l'aumento della loro energia media, alla variazione della resistività relativa. La novità non sembrerebbe dunque concernere una modifica della concezione einsteiniana, anche se, come commentato da Ferrari, Quirino era probabilmente convinto della cosa. Al di là di questo, è possibile ipotizzare che zio e nipote ritenessero che la scoperta di nuovi effetti fotoelettrici potesse avere applicazioni nel campo della riproduzione a distanza delle immagini, tema su cui già da tempo Quirino aveva dimostrato interesse, ma manca un accenno specifico alla cosa da parte loro. In ogni caso, gli interessanti e ben condotti esperimenti di Quirino non hanno prodotto svolte epocali nella storia di questo capitolo della fisica. Ma non c'è dubbio che la corrispondenza intrattenuta fra zio e nipote contribuisca considerevolmente ad un ulteriore delineazione della personalità del secondo, fornendoci in particolare importanti informazioni sulla sua nitida visione epistemologica. Come sottolinea Dragoni, all'inizio del carteggio Ettore appare svolgere quasi esclusivamente una funzione di tramite fra Quirino Majorana e Fermi. Come già ricordato, in una fase successiva, egli svolge un ruolo rilevante come elaboratore del calcolo teorico necessario per una disamina dei risultati quantitativi degli esperimenti. Ma, ci ricorda ancora Dragoni, se a una prima lettura il suo contributo sembra limitarsi a questo, un'analisi più approfondita del carteggio mostra che esso va ben oltre: egli non solo suggerisce nuovi tipi di misure o solleva dubbi sulla conclusività dei risultati al momento ottenuti, non solo esercita una funzione di stimolo e di programmazione, ma esercita – nelle parole di Dragoni – "una cauta, rispettosa critica agli entusiasmi dello zio." Alcune sue frasi, felicemente trascritte da Dragoni, sono sotto questo aspetto esemplari: "È possibile che i ritardi di fase constatati indichino l'esistenza di un fenomeno nuovo, ma non è forse superflua qualche cautela per escludere che si tratti di un semplice effetto termico", ispirata alla consapevolezza del rischio che corre lo sperimentatore quando il suo pensiero è influenzato da preconcetti; "Sulla loro interpretazione non vi è molto da dire poiché ti astieni deliberatamente dall'avanzare ipotesi"; "Non ho altro da aggiungere come 'teorico', se non l'augurio che dove la teoria manca socorra l'esperienza". E se questa astensione appare connaturata alla complessiva visione positivista della zio, essa nel nipote appare inquadrata in una limpida visione epistemologica complessiva. Non è senza nesso con la tematica affrontata in questo capitolo l'analisi che Dragoni conduce,

nel suo quinto paragrafo, delle ipotesi che sono state avanzate circa la scomparsa di Ettore Majorana. L'attenzione maggiore riceve, da parte sua, quella secondo la quale a monte della decisione di Majorana di "scegliersi un'altra vita" – qualunque cosa si voglia con questo intendere – sarebbe stata la sua previsione della possibilità della realizzazione di ordigni nucleari. Come è ampiamente noto, la presa d'atto collettiva della fissione avvenne agli inizi del 1939, con la pubblicazione dell'articolo di Hahn e Strassmann che, grazie alla consulenza di Lise Meitner e Otto Frisch, interpretavano in quei termini i loro risultati. Fu nel corso dello stesso anno che vari autori, Fermi fra questi, verificarono l'effettiva possibilità di una reazione a catena. E la scomparsa di Majorana era avvenuta l'anno prima: dunque, si direbbe, non poteva saperne nulla. Non si tiene però conto così di una vicenda sotterranea, con vari risvolti, che era cominciata nel 1934, quando Ida Noddack aveva interpretato appunto in termini di fissione risultati conseguiti in quell'anno dal gruppo di Fermi. Se non si vuole anche ricordare, come fa Dragoni, che l'immagine del modello a goccia del nucleo, messo a punto da Gamow in un trattato del 1931, era stata acquisita – con tutto ciò che poteva suggerire – da autori come Franco Rasetti e Giovanni Gentile junior (vedi loro scritti del 1936 e 37). Può tutto questo – ed eventualmente altro – aver fatto sì che Ettore Majorana, unico fra i suoi conoscenti ed amici, avesse divinato qualcosa che non era neppure passato per la mente neanche di quelli fra loro che avevano le maggiori conoscenze in materia? Dragoni riporta, al proposito, l'opinione espressa al proposito da Emilio Segrè nella sua Autobiografia: "... che Majorana potesse pensare specificamente a bombe atomiche, o cose del genere, può essere supposto solo da chi non conosce la fisica nucleare" (ignorando il contesto, immagino che Segrè avesse per l'appunto in mente la vicenda storica solida cui ho accennato inizialmente). Che tende a respingere sulla base delle circostanze appena ricordate, cogliendo una motivazione per l'allontanarsi dal mondo – non col suicidio – di Ettore "per non macchiarsi personalmente del peccato che avrebbero commesso i suoi amici". Tutto è possibile: devo dire però che fra quanto sui rapporti di Ettore Majorana con la comunità umana è dato evincere dalle testimonianze di chi lo ha conosciuto un rovello come questo non sembra emergere come centrale. La parte finale del volume contiene la riproduzione di quattro articoli di Quirino Majorana sulle sue ricerche legate all'effetto fotoelettrico, l'ultimo dei quali è quello, conclusivo, del 1938. Segue il testo della conferenza che egli tenne nel 1937 in occasione del secondo centenario della nascita di Luigi Galvani, che, come scrive Giorgio Dragoni (v. p. 55), sembra essere stato scritto interamente da Ettore; e, per finire, un breve

scritto dello stesso anno, informativo su quelle celebrazioni, di Raffaele Leonardi. Segue, a cura di Martina Lodi, un'ampia bibliografia – primaria (articoli e manoscritti) e secondaria – riguardante Quirino ed Ettore. Due considerazioni finali: la prima, ovvia: si tratta di un volume di grande pregio, e per il contenuto e per la bellissima veste tipografica e l'attenta documentazione; la seconda – per riprendere un accenno fatto inizialmente – per sottolineare come Giorgio Dragoni è andato ben al di là, per una quantità di ragioni che dovrebbero emergere da quanto qui ricordato – a partire dall'individuazione dal tema centrale – di quanto in genere comporti la semplice "cura" di un volume. Dobbiamo tutti essergli grati per avere portato alla luce un importante episodio che, al di là della rilevanza specifica degli esperimenti di Quirino, contribuisce a darci ulteriori importanti dettagli su una figura di grande rilievo nella storia della fisica del ventesimo secolo, quella di Ettore Majorana.

S. Bergia



E. SLAWIK E U. REICHERT - L'ATLANTE DELLE COSTELLAZIONI. Zanichelli Editore, Bologna, 2006; pp. 208; € 50.00

L'Atlante delle Costellazioni è unico tra i volumi di astronomia perché rappresenta per la prima volta l'intero cielo stellato per mezzo di 42 fotografie a colori di grande formato. Ogni foto riproduce un quadrato di cielo di 58 gradi di lato. Le inquadrature permettono di vedere nella loro interezza le 88 costellazioni degli emisferi boreale e australe. Le foto di ciascuno dei 42 campi celesti sono su doppia pagina: la prima pagina riporta le indicazioni dei nomi delle stelle e di altri oggetti particolari, la seconda è dotata di una griglia di coordinate che permette la ricerca e il riconoscimento dei gruppi di stelle e degli oggetti celesti più appariscenti. Alcune regioni del cielo particolarmente interessanti sono poi riportate ingrandite e più in dettaglio. Le costellazioni sono elencate secondo la loro

visibilità nel cielo serale andando da nord a sud e mese per mese, cominciando da gennaio. Per ogni costellazione è riportato il nome italiano, il nome latino usato internazionalmente, l'abbreviazione di tre lettere e il genitivo latino usato per indicare le stelle più luminose. I nomi di molte costellazioni hanno origine nella mitologia preistorica e sono stati tramandati ai posteri dai grandi scrittori greci e romani. Si era dato il nome a 48 costellazioni. Particolare importanza avevano sin da allora le 12 costellazioni dello zodiaco, che vengono attraversate dal sole nella sua traiettoria apparente nel cielo nel corso di un anno: sono le costellazioni Ariete, Toro, Gemelli, Cancro, Leone, Vergine, Bilancia, Scorpione, Sagittario, Capricorno, Acquario, Pesci. Le più note costellazioni boreali degli antichi sono: Orsa minore, Orsa maggiore, Corona boreale, Ercole, Lira, Cigno, Cassiopea, Auriga, Pegaso, Andromeda, ... Le più note costellazioni australi antiche sono: Orione, Cane maggiore, Cane minore, Argo, Idr, Centauro, Lupo, Corona australe, ... Nel 1930 è stato fatto un accordo internazionale che ha definito i nomi delle altre 40 costellazioni.

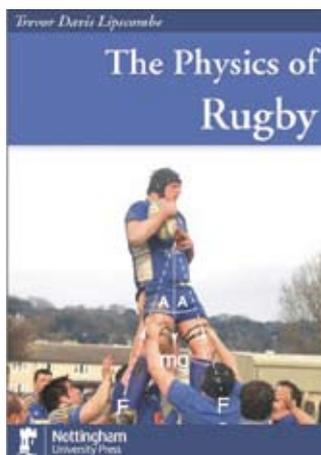
Nel corso dei secoli per dare un nome alle stelle si è ricorsi alla loro posizione all'interno di una costellazione, per es. "la stella rossa luminosa sulla spalla destra di Orione". In seguito le stelle più luminose hanno ricevuto un nome di origine greca, romana o araba; più tardi, nella denominazione di Bayer, una stella venne indicata con una lettera greca minuscola seguita dal genitivo del nome latino della costellazione (spesso ora usati con un'abbreviazione): per es. Betelgeuse (α Orionis), Capella (α Aurigae), Pollux (β Geminorum).

L'atlante è corredato da un'Introduzione, carte di insieme, vari Approfondimenti (Luminosità delle stelle, Moto di precessione dell'asse terrestre, Piccoli corpi del Sistema Solare, Comete, Pianeti al di fuori del Sistema Solare, Sciami di meteore, Stelle variabili, I colori delle stelle, Alla ricerca dei confini del mondo), di Appendici, di un Glossario e di una Bibliografia. L'Atlante delle Costellazioni è un'opera che si rivolge all'astronomo professionale, al dilettante e al semplice appassionato. L'atlante ha un'impostazione didattica molto buona, scientificamente corretta e completa.

G. Giacomelli e R. Giacomelli

TREVOR DAVIS LIPSCOMBE - THE PHYSICS OF RUGBY. Nottingham University Press, U.K., 2009, pp. 200; £ 20.00

This book is a declaration of love. A double love for physics and rugby, the two passions in the author's life. Trevor Lipscombe is a physicist who played rugby for eleven years and then continued loving and following the sport. A double but not ambiguous love, and it can



only be so because it happened *a posteriori*, after the two passions had lived side by side for years, each aware of the other. It takes the form of a precise vision, of memories and anecdotes, of analogies and metaphors. Seen this way rugby is not just a virile expression of muscles but it declares its underlying logic and becomes the excuse for concrete examples of situations that can be shown schematically in simple models, for which an equation can be written, suitable for estimating orders of magnitude, and for checking expectations against games actually played.

It is openly declared that the episodes and examples are taken mainly from the Six Nations Tournament. Openly with a preference for Wales and England. "*Mea culpa*" Lipscombe confesses. An acceptable *culpa*, at least for us Italians, in the context of the Six Nations, but not when Galileo's discoveries of the principle of inertia, of the law of the composition of motion and of the laws on the motion of projectiles (and of rugby balls) are attributed to the "Anglo che tanta ala vi stese"¹. Indeed, as Newton himself wrote in the following note, in the third book of the *Principia*, the enunciation of the three laws and of their relative corollaries (the first two of which concern the composition of motion and force): "*By the first two Laws and the first two Corollaries, Galileo discovered that the descent of bodies observed the duplicate ratio of the time, and that the motion of projectiles was in the curve of a parabola; experience agreeing with both, unless so far as these motions are a little retarded by the resistance of the air*"². Setting that aside, Lipscombe expounds the laws of motion in a language that on the one hand is simple and comprehensible, even for someone with little knowledge of mathematics, and that on the other hand is precise and faithful to Newton. Force, in particular, is the cause of the variation of momentum over time and momentum plays the central role that it did in the *Principia*. Original examples taken from rugby illustrate clearly and simply vectors in general and how momentum can change both in size and direction.

More generally, the book is a rich source of

original examples, developed at a quantitative level as well, which can be used to arouse the interest of students of physics and of the public. I shall quote some examples.

A player running towards the opposition's try line can only pass the ball backwards to a teammate. But the pass may be backward with respect to him, but not with regard to the playing field, or to the public. And the referee may whistle if he is standing still or not whistle if he is running alongside the player. In the latter case it will be the other team's supporters who will whistle. These are interesting exercises on relative velocities.

Many cases, which are real numerical exercises, concern the motion of the ball in stationary kicks, including penalty kicks, calculating in particular the maximum range or, for shorter kicks, the possibility of choosing between two different initial angles for the kick so as to cover the same distance but in different times, and the opportunities that this gives rise to. The "effect" given to the ball, the spin, again in stationary kicks, is used to introduce examples of the Magnus effect and of the stabilisation of the trajectories of projectiles in rifled gun barrels. Other points are raised by the influence of favourable or contrary wind on the trajectory of the ball, including turbulence effects such as Karman wake vortices due to the structures of the stadium.

But the author's passion for rugby sweeps him even further, telling parables and analogies. For example his analogies are amusing (but I would not recommend them in teaching) between the structure of a scrum and a solid (the eight players are in a precise order in the scrum like the molecules in a solid), between a maul and a liquid (the density of players-molecules is similar but the order is only short range) and the "evaporation" of a maul close to the try line, where the players exit and re-enter its surface frenetically. Even more extreme are the analogies between the Feynman graph for the Compton effect and the ball passing between two players from the same team or the amusing observation that if you take the film of a player from team A running towards team B's try line and run it backwards you see a B team player attacking, a parable of the antiparticle, which is a particle that goes backwards in time. In conclusion, the cocktail of rugby and physics mixed for us by Trevor Lipscombe will be a pleasant read both for fans of the sport and for teachers and students of physics, especially if carefully guided, and also for the public that wants to enjoy a different way of looking at physics.

¹ "The Englishman who spread there so great a wing" as the Italian poet Ugo Foscolo called Newton in his poem "I sepolcri".

² Translated from the Latin by Motte in 1729.

A. Bettini

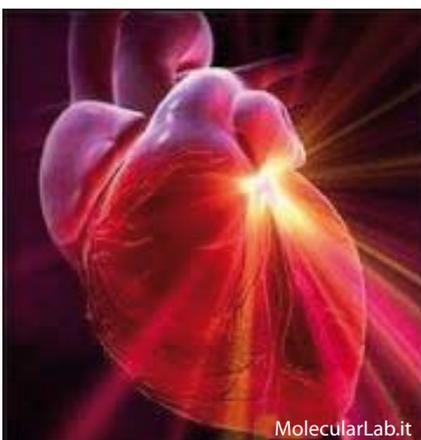
SCELTI PER VOI

IL CUORE UMANO SI RIGENERA

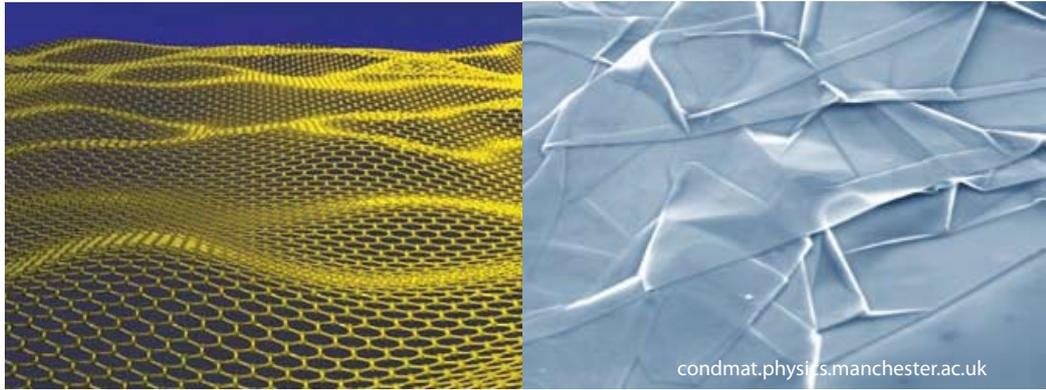
Il cuore umano è considerato un organo le cui cellule muscolari non si suddividono mai dopo la nascita. Si tratta di un'idea sbagliata, come ha dimostrato un gruppo dell'Istituto Karolinska di Stoccolma che, studiando i cuori sani di persone decedute, ha dimostrato che i cardiomiociti (le cellule muscolari del cuore) si rinnovano nel corso della vita delle persone. Per arrivare a questo risultato è stato tenuto conto del fatto che gli esperimenti con il lancio di ordigni nucleari sono terminati nel 1963 a seguito di accordi internazionali che li hanno vietati. Detti esperimenti hanno liberato nell'atmosfera anidride carbonica (CO_2) in cui il carbonio è l'isotopo instabile di massa 14 (^{14}C). L'anidride carbonica è utilizzata dalle piante per fabbricare la loro materia organica che, in seguito è consumata dagli animali e dagli uomini. Dato che la concentrazione di ^{14}C presente in aria diminuisce costantemente a partire dal 1963, per effetto del decadimento del ^{14}C , la percentuale di questo isotopo presente nel DNA delle cellule di una persona permette di stabilire il periodo di nascita di dette cellule. Il confronto con la data di nascita della persona permette di determinare se si tratta di cellule presenti fin dalla nascita o sviluppate in seguito.

Il gruppo di Stoccolma aveva già messo a punto questa tecnica di analisi nel 2005 per studiare la corteccia cerebrale occipitale, arrivando a concludere che i neuroni non si rinnovano. I cardiomiociti che rappresentano il 20% delle cellule cardiache si rinnovano lentamente a un ritmo che diminuisce al trascorrere del tempo: infatti la percentuale di cellule rinnovate decresce passando da 1% a 20 anni a 0,45% a 75 anni. Si stima che, verso la fine della vita, la metà dei cardiomiociti si sia rinnovata. I risultati della ricerca aprono interessanti prospettive, per esempio per comprendere se esistono particolari patologie in cui si possa intervenire stimolando il ricambio, con un piano terapeutico.

La Recherche, 431, giugno 2009, p.16



MolecularLab.it



condmat.physics.manchester.ac.uk

IL GRAFENE

Il grafene è un materiale che desta meraviglia per le sue eccezionali caratteristiche: è il più sottile fra quelli esistenti nell'universo e, nello stesso tempo, il più resistente mai misurato. I portatori di carica presentano una mobilità enorme, hanno massa efficace nulla e, a temperatura ambiente, possono muoversi su distanze dell'ordine del micron senza subire deviazioni dal percorso rettilineo. Questo materiale è in grado di sopportare densità di corrente sei ordini di grandezza maggiori di quelle del rame, presenta valori eccezionali della conducibilità termica e della resistenza alle deformazioni, è impermeabile ai gas e riesce a conciliare proprietà fra loro contrastanti come la fragilità e la duttilità.

Il grafene è un singolo piano atomico di grafite, sufficientemente isolato dall'ambiente esterno tanto da poter essere considerato libero. A livello di descrizione, i piani atomici sono familiari a chiunque come schematizzazione della struttura dei cristalli, ma materiali il cui spessore è quello di un atomo non fanno parte delle nostre conoscenze del passato. Il motivo è semplice: la natura impedisce la formazione di cristalli con dimensionalità inferiore a tre; in effetti, la crescita dei cristalli implica temperature elevate e quindi fluttuazioni termiche che impediscono la stabilità di sistemi mono e bidimensionali. Infatti anche iniziando l'operazione di crescita da molecole e cristallini delle dimensioni del nanometro, la densità fononica, integrata sullo spazio tridimensionale, disponibile per le vibrazioni termiche cresce rapidamente, fino a divergere su scala macroscopica. Per ottenere un cristallo bidimensionale si può farlo crescere sulla superficie di un altro cristallo e, in seguito, staccarlo.

Gli aspetti maggiormente studiati della fisica del grafene riguardano le sue proprietà elettroniche: diverse caratteristiche rendono tali proprietà uniche e diverse da quelle di qualsiasi altro sistema allo stato solido. La prima e quella più frequentemente trattata riguarda lo spettro elettronico del materiale: gli elettroni che si propagano attraverso il reticolo perdono completamente la loro massa

effettiva con il risultato di essere trattabili come quasi-particelle il cui comportamento è descritto da una equazione del tipo di Dirac anziché da quella di Schrödinger. Quest'ultima, determinante per la comprensione delle proprietà quantistiche di altri materiali non è applicabile ai portatori di carica, di massa a riposo nulla, del grafene. Infatti i portatori di carica, nel settore di fisica della materia condensata, sono normalmente descritti dalla equazione di Schrödinger con una massa efficace m^* diversa da quella dell'elettrone libero. Particelle relativistiche, nel limite di massa a riposo nulla, seguono l'equazione di Dirac; i portatori di carica del grafene sono detti fermioni di Dirac privi di massa il cui comportamento è descritto da un'analogia dell'equazione di Dirac in 2 dimensioni, con la velocità di Fermi $v_F = 1 \times 10^6$ m/s che gioca il ruolo di velocità della luce. Il doppio strato di grafene, costituito da due fogli del materiale fra loro paralleli può essere descritto con un altro tipo di quasi-particelle che non hanno analogie: si tratta di fermioni di Dirac con massa il cui comportamento è descritto da una strana hamiltoniana che mette insieme caratteristiche di entrambe le equazioni di Dirac e di Schrödinger.

Gli studi iniziali delle proprietà elettroniche del grafene furono concentrati sull'analisi di ciò che la nuova fisica avrebbe potuto guadagnare usando l'equazione di Dirac nell'ambito del formalismo della materia condensata. Come conseguenza, l'impiego dell'elettrodinamica quantistica per studiare il grafene ha portato alla comprensione dell'effetto Hall quantistico semi-intero e alla previsione di altri fenomeni. Il doppio strato di grafene può preparare il terreno a nuove applicazioni elettroniche che vanno dai laser che cambiano il colore della luce emessa a circuiti elettronici in grado di modificarsi.

Science, 324, 19 giugno 2009, p. 1530

a cura di Sergio Focardi

Welcome to Stockholm, Sweden 19-20 October 2009

International top scientists will come to Stockholm for a unique international meeting on future energy options. Energy 2050 is arranged by the Royal Swedish Academy of Sciences in association with the Swedish EU presidency in autumn 2009.

TOPICS OF SPECIAL INTEREST:

- CO₂ removal from the atmosphere
- Transforming CO₂ into fuels
- Efficient energy usage
- Fuel options for the transport sector
- Wind, Wave, Solar
- New nuclear energy

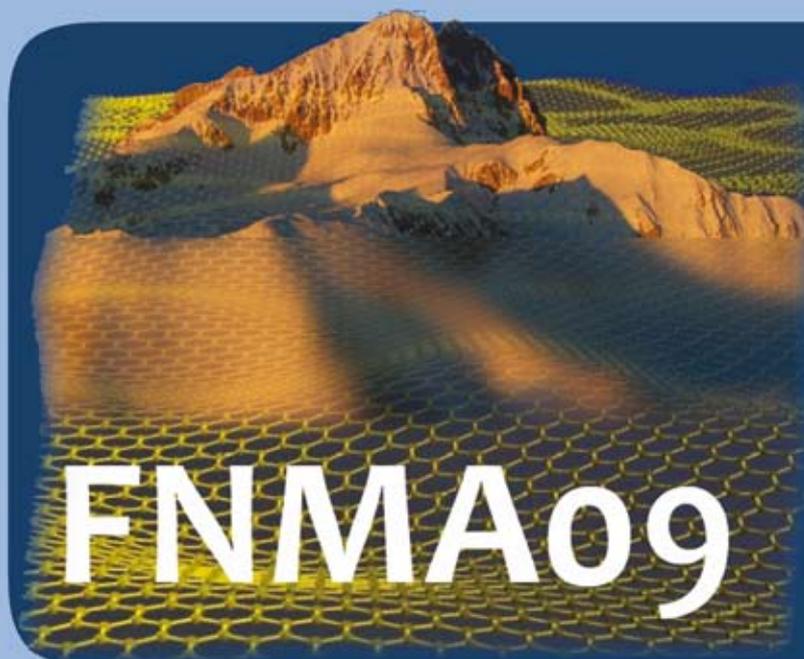


For scientists, industrialists, policy- and decision-makers, teachers, media.

For more information and registration see
www.energy2050.se



The Royal Swedish Academy of Sciences has as its main aim to promote the sciences and strengthen their influence in society.



27-30 September 2009
Sulmona (L'Aquila - Italy)

FNMA09

6th International Workshop
on Functional and Nanostructured Materials

10th Conference on Intermolecular and Magnetic Interactions in Matter

www.fnma09.gda.pl

DOMANDA DI ISCRIZIONE alla SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

2009

Nome _____

Cognome _____

Luogo e data di nascita _____

Nazionalità _____

a Istituto o Ente di appartenenza _____

b Indirizzo privato _____

Indirizzo e-mail _____

Breve curriculum (titolo di studio, attività didattica e scientifica): _____

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza:

a

b

Firme leggibili dei Soci Presentatori (*)

Nomi in stampatello e indirizzi e-mail

1) _____

2) _____

- | | |
|---|-----------------------------------|
| <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 altre associazioni scientifiche relative 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"/> |
| <input type="radio"/> Socio INVITATO | € 0,00 <input type="checkbox"/> |

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda. ()*

(*) Eccetto per i Soci INVITATI

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

Data _____

Firma _____

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

sì no

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Per diventare Socio SIF:

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

Quote sociali 2009 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"/> |
| <input type="radio"/> Socio Invitato | € 0,00 | <input type="checkbox"/> |

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

(**) Poiché queste quote sono cambiate rispetto al 2008, per i Soci che hanno già provveduto al rinnovo anticipatamente saranno effettuati i corrispettivi conguagli in occasione del rinnovo nel 2010.

Per diventare Socio EPS:

Informazioni: <http://www.eps.org/subscribe>

Quote sociali 2009 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

Carta n. _____

Data di scadenza _____

Nome e Cognome o Ente _____

Via _____

Città e C.A.P. _____

Data e luogo di nascita _____

Data _____ Firma _____

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

si no