

HANNO COLLABORATO A QUESTO
NUMERO:

G. Bellomo, G. Benedek, A. Bettini,
E. Comini, G. M. D'Ariano,
G. Faglia, A. Farini, M. Ferroni,
C. Guaraldo, R. Habel, E. Lodi
Rizzini, A. A. Lucas, L. Lusanna,
G. Martinelli, A. Masiero,
M. Pallotta, I. Picardi, A. Ponzoni,
R. A. Ricci, A. Rigamonti,
N. Robotti, E. Sassi,
G. Sberveglieri, D. Zappa

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Nuova Serie Anno 28 • N. 3 maggio-giugno 2012 • N. 4 luglio-agosto 2012

DIRETTORE RESPONSABILE
Luisa Cifarelli

VICEDIRETTORE
Giuseppe Grosso

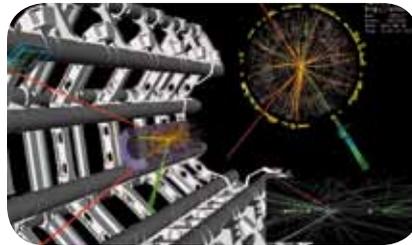
COMITATO SCIENTIFICO
G. Benedek, A. Bettini,
P. Cenci, S. Centro,
E. De Sanctis, A. Di Virgilio,
S. Falciano, F. Ferroni,
S. Focardi, E. Iarocci,
I. Ortalli, F. Palmonari,
P. Picchi, B. Preziosi

SOMMARIO

- 3 EDITORIALE  / EDITORIAL 
L. Cifarelli

SCIENZA IN PRIMO PIANO

- 5 **Il bosone di Higgs: la sua esistenza,
la nostra esistenza**
A. Masiero



- 13 **A quantum digital universe**
G. M. D'Ariano

FISICA E...

- 23 **Applicazione di nanofili di ossidi
metallici nel campo prevenzione/
sicurezza**
E. Comini, G. Faglia, M. Ferroni,
A. Ponzoni, D. Zappa, G. Sberveglieri
- 35 **Occhio specchio dell'anima: il
sistema visivo umano visto dalla
fisica**
A. Farini

PERCORSI

- 45 **I 50 anni dei Laboratori di Legnaro:
un pezzo di storia della Fisica dei
Nuclei in Italia**
R. A. Ricci

IL NOSTRO MONDO

- 61 **XCVIII Congresso Nazionale
della Società Italiana di Fisica
Programma Generale**
- 64 **SISSA: una realtà italiana nel
panorama internazionale**
G. Martinelli
- 68 **Il Nuovo Cimento 150, 100, 50
anni fa**
A. Bettini

News

- 69 **Progetto STEPSTWO
(2009-2011): attività, risultati
e raccomandazioni**
E. Sassi
- 73 **Cento anni di diffrazione dei
raggi X**
N. Robotti
- 75 **Il progetto HadronPhysics3**
C. Guaraldo
- 77 **Dark ladies**
I. Picardi

79 OPINIONI

79 RECENSIONI

80 IN EVIDENZA

81 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 questo fascicolo) all'indirizzo: <http://www.sif.it/associazione>.

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

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

RINNOVO QUOTE SOCIALI

Il rinnovo della quota sociale può essere effettuato:

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

HOW TO BECOME A SIF MEMBER

To apply for membership an application form must be filled in, including a brief scientific curriculum and the signatures of two introducing Members.

The application can be filled in online or downloading the application form at the following address:

<http://en.sif.it/association>.

The application form will be examined and eventually approved by the Council. Applicants will have to pay the membership dues, as indicated in the form, only after having been informed by the Society about the acceptance of their application.

MEMBERSHIP RENEWAL

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

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

La Società Italiana di Fisica compie 115 anni e il suo Congresso torna a Napoli dopo ben 25 anni!

Si tratta del nostro 98° Congresso Nazionale che vuole rappresentare come sempre una bella occasione di incontro per tutti i Soci e, in particolare, per i giovani. I tempi sono difficili ma teniamoci stretti. Anche quest'anno daremo numerosi premi e medaglie, celebreremo varie ricorrenze e festeggeremo insieme tutti i successi della ricerca italiana, in Italia e all'estero, con un'ampia panoramica sui risultati più importanti ottenuti in tutti i settori della fisica nell'arco dell'ultimo anno. A partire, ovviamente, dalla recente scoperta al collider LHC del CERN del nuovo bosone di cui tutto il mondo parla e cui è dedicato uno speciale articolo in questo numero de *IL NUOVO SAGGIATORE* (vedi p. 4).

Il rapporto sulle attività e sull'andamento della SIF nel periodo 2011-2012, pubblicato separatamente nel nostro *RESOCONTO ANNUALE*, sarà presentato all'Assemblea Generale dei Soci durante il Congresso.

Vorrei tuttavia parlare qui delle attività a Varenna, dove ha preso il via quest'anno una nuova scuola, la *Joint EPS-SIF International School on Energy*. Il 1° Corso "*New strategies for energy generation, conversion and storage*" (30 luglio - 4 agosto 2012; Direttori L. Cifarelli, F. Wagner, D. Wiersma) ha radunato 70 docenti, studenti e osservatori di 18 diverse nazionalità, che per una settimana hanno vivacemente e intensamente parlato e discusso di energia: energia da fonti

fossili; energia nucleare, fisica della fissione e della fusione; energia rinnovabile; energia solare e fotovoltaico; energia eolica; energia delle biomasse; emissioni di CO₂, ambiente e quadro globale; immagazzinamento di energia, risparmio energetico ed efficienza energetica; energia e trasporto; energia e comunicazione. Il programma dettagliato e gran parte del materiale presentato sono in visione a partire dal sito http://www.sif.it/attivita/scuola_energia/2012. Prossima edizione nel 2014, con un taglio simile in maniera da coprire tutti i vari capitoli di un soggetto multidisciplinare vasto e complesso come l'energia. Le *Lecture Notes on Energy* della Scuola costituiranno una nuova serie rispetto agli ormai celebri *Proceedings* di Varenna della SIF.

Tornando ora alla *International School of Physics "Enrico Fermi"*, ben tre corsi hanno preceduto la nuova scuola, con un totale complessivo di oltre 250 partecipanti. Ecco l'elenco dei titoli e dei direttori cui vanno i miei sinceri ringraziamenti per il successo ottenuto: "*Quantum spintronics and related phenomena*" (183° Corso, 19-29 giugno, Direttori: P. Simon, D. Loss); "*Physics of complex colloids*" (184° Corso, 3-13 luglio, Direttori: F. Sciortino, C. Bechinger, P. Zihler); "*Metrology and physical constants*" (185° Corso, 17-27 luglio, Direttori: E. Bava, M. Kühne).

Nel 2013 la Scuola "Enrico Fermi" di Varenna compirà 60 anni e la SIF ha già in programma un simposio celebrativo internazionale e speciali

pubblicazioni.

Sul fronte editoriale segnalo il buon andamento della neonata rivista online EPJ PLUS (continuazione de *IL NUOVO CIMENTO B*) in termini di numero di pagine prodotte e download, ancora in aumento rispetto al 2011, e la buona tenuta, anzi leggera crescita rispetto al 2010, dell'impact factor de *LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO* che continua a raccogliere ottimi contributi in tutti i campi della fisica. Aggiungo un invito per i nostri Soci, e non solo, a pubblicare su queste e sulle altre riviste della SIF.

Infine una nota rosa per annunciare la stampa del volume LAURA BASSI: EMBLEMA E PRIMATO NELLA SCIENZA DEL SETTECENTO / EMBLEM AND PRIMACY IN SETTECENTO SCIENCE, in onore di Laura Bassi, prima socia nel 1732 dell'autorevole Accademia dell'Istituto delle Scienze di Bologna e prima donna al mondo a ottenere una cattedra all'università per l'insegnamento della fisica (allora denominata filosofia naturale). Il volume, in versione bilingue e con belle illustrazioni, è a cura del presidente della Società Italiana di Storia della Scienza, Raffaella Simili, e del presidente della Società Italiana di Fisica. Per simpatica coincidenza entrambe professoresse all'Università di Bologna.



The Italian Physical Society is 115 years old and its Congress is back to Naples after a good 25 years!

It is our 98th National Congress and it will be as usual a nice occasion to meet for all Members, especially the younger ones. These are hard times but let's hold on. Also this year many prizes and medals will be awarded, we will celebrate altogether various anniversaries, and all the great achievements of Italian research, in Italy and abroad with a wide survey on the most relevant results obtained in all fields of physics within last year. Obviously starting with the recent discovery at the CERN LHC collider of the new boson about which everybody is talking the world over and to which the opening article of this issue of *IL NUOVO SAGGIATORE* is dedicated (see p. 4).

The summary of the activities and status of the Society in the period 2011-2012, which is published separately in our *RESOCONTO ANNUALE* (annual report) will be presented at the General Assembly of the Members due to take place during the Congress.

I would however like to mention here the activities in Varenna, where a new school has been initiated this year: *The Joint EPS-SIF International School on Energy*. The 1st Course "*New strategies for energy generation, conversion and storage*" (30 July - 4 August 2012; Directors L. Cifarelli, F. Wagner, D. Wiersma) has involved a total of 70 lecturers, students and observers from 18 different countries, who for the whole week have talked and discussed lively and

intensively about energy: energy from fossil sources; nuclear energy, fission and fusion physics; renewable energy; solar energy and photovoltaics; wind-generated energy; energy from bio-sources; CO₂ emissions, environment and global scenario; energy storage, saving and efficiency; energy for future transportation; energy and communication. The detailed program and most of the presentations are published online at the following address: http://www.sif.it/attivita/scuola_energia/2012. The next Course will be held in 2014 in a similar vein, in order to cover all the branches of such a wide and complex multidisciplinary topic as is energy. The *Lecture Notes on Energy* of the School will start a new book series different from the already well-known *Varenna Proceedings* series published by SIF.

With reference to the *International School of Physics "Enrico Fermi"*, three other courses took place before the mentioned new school with a total of 250 participants. Here is the list of respective titles and directors to whom goes my sincere gratitude for the successful running of these courses:

"*Quantum spintronics and related phenomena*" (183rd Course, 19-29 June, Directors: P. Simon, D. Loss); "*Physics of complex colloids*" (184th Course, 3-13 July, Directors: F. Sciortino, C. Bechinger, P. Zihler); "*Metrology and physical constants*" (185th Course 17-27 July, Directors: E. Bava, M. Kühne).

In 2013 the Varenna "Enrico Fermi" School

will celebrate its 60th anniversary and the Society has already scheduled an international symposium and planned special publications.

On the editorial side I would like to underline the satisfactory performance of the still new, online-only journal EPJ PLUS (continuation of *IL NUOVO CIMENTO B*) both in terms of number of published pages and downloads, which show an increasing trend with respect to 2011, the year of its launching. Worthy of note is also the solidity of the impact factor of *LA RIVISTA DEL NUOVO CIMENTO* which is slightly increasing in comparison with 2010: a confirmation that the journal continues to publish excellent contributions in all fields of physics.

Let us close with announcing a gender-related new publication: LAURA BASSI: EMBLEMA E PRIMATO NELLA SCIENZA DEL SETTECENTO / EMBLEM AND PRIMACY IN SETTECENTO SCIENCE, a volume in honour of Laura Bassi, first female member in 1732 of the prestigious Accademia dell'Istituto delle Scienze (Academy of the Institute of Science) of Bologna and first woman in the world to obtain a University chair of physics (natural philosophy at the time). The volume, with an Italian/English bilingual text enriched by beautiful images, is edited by the president of the Italian Society of the History of Science, Raffaella Simili, and the president of the Italian Physical Society. By a nice coincidence they both are professors at Bologna University.

IL BOSONE DI HIGGS: LA SUA ESISTENZA, LA NOSTRA ESISTENZA

ANTONIO MASIERO

Dipartimento di Fisica, Università di Padova, Padova, Italia
INFN, Sezione di Padova, Italia

A LHC è stata scoperta una nuova particella che ha caratteristiche molto vicine a quelle che ci aspettiamo per il bosone di Higgs del Modello Standard. È proprio lui e che massa possiede? Non solo il futuro della fisica delle particelle, ma anche la storia passata e il destino dell'Universo possono stare scritti in questa risposta.

Quando la mattina dello scorso 4 luglio è comparsa la slide di Joe Incandela (CMS) [1] prima e quella di Fabiola Gianotti (ATLAS) [2] poi con la magica parola di "5 sigma" quale evidenza per l'esistenza di una nuova particella assimilabile al bosone di Higgs del Modello Standard si è levato un boato sia nell'auditorium del CERN, ma anche nelle centinaia di sale in tutto il mondo in cui fisici e giornalisti stavano seguendo in diretta il seminario del CERN: dopo quasi 50 anni di caccia senza quartiere, finalmente in quel momento sembrava di toccare con mano una particella così affascinante e fondamentale da venire soprannominata "la particella di Dio".

1 Meccanismo di Higgs e transizione di fase elettrodebole

L'impressionante progresso nella comprensione delle interazioni fondamentali in tutta la seconda metà del secolo scorso e a tutt'oggi si fonda sul profondo connubio esistente tra queste e le simmetrie della Natura. Siamo abituati alle simmetrie spazio-temporali, ma qui mi riferisco a simmetrie presenti in un altro spazio, uno "spazio interno", simmetrie che trasformano non punti dello spazio-tempo, ma le particelle elementari tra di loro. Queste simmetrie agiscono indipendentemente punto per punto nell'enorme spazio-tempo del nostro Universo. Sono chiamate *simmetrie locali o di gauge*. Così le interazioni nucleari forti che forniscono la "colla nucleare" per tener insieme protoni e neutroni nei

nuclei (oppure "confinano" i quark all'interno di tali protoni e neutroni) vengono geometricamente descritte dalla presenza di una simmetria di gauge, $SU(3)$, che scambia quark con proprietà di $SU(3)$ diverse. La presenza di una simmetria di gauge implica l'esistenza di mediatori delle interazioni tra le particelle di materia (cioè i quark e i leptoni); si tratta dei *bosoni di gauge vettoriali* (con spin 1). Nel caso delle interazioni forti, agli 8 generatori del gruppo di simmetria $SU(3)$ corrispondono gli 8 bosoni di gauge chiamati gluoni. La presenza di una simmetria di gauge assicura che i relativi bosoni di gauge siano a massa rigorosamente nulla. Questo è il caso dei gluoni.

Le interazioni elettromagnetiche e quelle nucleari deboli (responsabili tra l'altro della radioattività) vengono associate nella

teoria di gauge chiamata *Modello Standard (SM)* alla simmetria di gauge $SU(2) \times U(1)$. È importante sottolineare che i tre bosoni di gauge di $SU(2)$ e quello di $U(1)$ non si riferiscono ai mediatori delle interazioni deboli ed elettromagnetiche (il fotone), separatamente. Abbiamo una descrizione unificata o, se volete, "mescolata insieme" di tali interazioni, tanto è vero che diciamo che $SU(2) \times U(1)$ è la simmetria delle interazioni elettrodeboli. Fino a qui avremmo una descrizione delle interazioni forti, deboli ed elettromagnetiche di una bellezza stupefacente: tutto viene retto da un principio di simmetria che detta come interagiscano le particelle di materia (quark e leptoni) attraverso lo scambio dei messaggeri dell'interazione, i relativi bosoni di gauge. Riteniamo che vi sia stata una fase molto breve,



ma decisiva, nella storia dell'*Universo primordiale*, sino a circa 10^{-11} s dopo il Big Bang, in cui quark, leptoni e bosoni di gauge del plasma primordiale erano a *massa nulla* e interagivano tra loro secondo le leggi della simmetria di gauge $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$. Era il trionfo della grande visione pitagorica di un universo retto da grandi e immutabili principi geometrici. Ma di sicuro questo non è il presente Universo in cui viviamo: il decadimento β di un neutrone in un protone, un elettrone e un antineutrino è un'interazione di "corta distanza" per cui il bosone di gauge mediatore del processo, il bosone W , deve avere una massa di circa un centinaio di volte la massa del protone (cioè circa 100 GeV). Eppure la fisica del Modello Standard (tecnicamente, la sua

lagrangiana) se invariante rispetto alle trasformazioni della simmetria $SU(2) \times U(1)$ avrebbe il bosone W rigorosamente a massa nulla. Il dilemma tra bellezza della simmetria e richiesta fenomenologica di avere bosoni di gauge massicci è risolto dal meccanismo di *rottura spontanea* della simmetria di gauge: mentre la Lagrangiana di una teoria di gauge viene lasciata invariata quando si realizzano trasformazioni di una simmetria da lei posseduta, può accadere che lo stato di minima energia in cui il sistema fisico si trova a sedere (il cosiddetto *stato di vuoto* nella descrizione quantistica) non venga lasciato invariato da tali trasformazioni. In altre parole, lo stato di vuoto di un sistema fisico può non essere simmetrico rispetto a trasformazioni

di una simmetria che invece è rispettata dalla Lagrangiana (cioè dalla fisica) del sistema stesso. Quando la simmetria che viene rotta è una simmetria di gauge lo si definisce, anche se discutibilmente, in termini di "paternità storica", *Meccanismo di Higgs* [3].

Tornando all'Universo che abbiamo lasciato quando la sua temperatura era attorno al centinaio di GeV, ovvero a circa 10^{-11} s dal Big Bang, in quel momento avviene la transizione di fase che segnerà non solo la possibilità per noi di esistere, ma anche tutta la sua evoluzione futura: lo stato di vuoto del sistema fisico Universo passa dalla fase con simmetria $SU(2) \times U(1)$ a quella in cui è invariante solo rispetto alla simmetria delle interazioni elettromagnetiche, quel $U(1)_{em}$ il cui bosone di gauge è il fotone che

rimane a massa nulla. Gli altri tre bosoni di gauge di $SU(2) \times U(1)$ (W^\pm, Z) prendono massa proprio grazie al meccanismo di Higgs.

È importante sottolineare che noi eravamo sicuri che la Natura avesse scelto il meccanismo di Higgs per rompere la simmetria elettrodebole del SM ben prima del 4 luglio scorso. Chi ce l'ha sancito a chiare lettere è la fisica di precisione del SM, a cui ha contribuito in modo determinante tutta l'impressionante (sia per quantità che qualità) fisica svolta al LEP del CERN, ma anche al Tevatron del Fermilab di Chicago. La fisica italiana e in modo particolare l'INFN sono state protagoniste di questo passo cruciale della nostra conoscenza del microcosmo, come già questa Rivista ha avuto modo di ricordare negli anni passati.

2 Meccanismo di Higgs e bosone di Higgs

Naturalmente, la domanda-chiave a questo punto è: chi è l'artefice del meccanismo di Higgs che nell'Universo primordiale produce la cruciale transizione di fase elettrodebole? Il fisico scozzese Higgs, ma indipendentemente e più o meno nello stesso periodo almeno altri cinque fisici, Brout, Englert, Guralnik, Hagen e Kibble, verso la metà degli anni '60 risposero introducendo un *bosone scalare* (cioè di spin 0), quello oggi definito *bosone di Higgs*. Verso la fine degli anni '60 Steven Weinberg e Abdus Salam introdussero il bosone di Higgs nel contesto della teoria di gauge $SU(2) \times U(1)$ proposta da Sheldon Glashow qualche anno prima per descrivere le interazioni elettrodeboli. Nasce il Modello Standard: il suo stato di vuoto è determinato minimizzando il potenziale del campo di Higgs (in una teoria quantistica dei campi quale è il SM parlare di particella o di campo quantizzato è la stessa cosa). Chiamato H il campo di Higgs, il potenziale è semplicemente la somma di un termine quadratico e uno quartico in H : $V = \mu^2 H^2 + \lambda H^4$, ove il parametro μ ha le dimensioni di una massa, mentre λ è un numero. Ora, se μ^2 è positivo, il potenziale è un paraboloide, il cui minimo è nell'origine e pertanto lo stato di vuoto possiede la stessa simmetria $SU(2) \times U(1)$ della lagrangiana del SM. Il valore di H che minimizza tale potenziale è in questo caso $\langle H \rangle = 0$, ove il simbolo $\langle \rangle$ sta a significare il valore assunto da H nello stato di vuoto del sistema, quello che brevemente viene definito VEV (*Vacuum Expectation Value*) di H . Ma se μ^2 è invece negativo, il potenziale assume la forma del fondo di una bottiglia di spumante con l'origine (il centro rialzato del fondo della bottiglia) che è un massimo locale e con una "valle di minimi" corrispondenti alla stessa energia (il cerchio del fondo della bottiglia che poggia sul tavolo). Questa volta $\langle H \rangle = v$, con $v \neq 0$.

Per capire come sia stato possibile che l'Universo all'età di un centesimo di miliardesimo di secondo sia passato dalla fase con simmetria esatta $SU(2) \times U(1)$ (cioè con μ^2 positivo) a quella con simmetria $SU(2) \times U(1)$ rotta all' $U(1)_{em}$ (cioè con μ^2 negativo), bisogna tener conto che *il potenziale di Higgs descritto sopra dipende dalla temperatura* in cui l'Universo si trova. Oggi questa è molto piccola (i 2,7 K della radiazione di fondo cosmica) per cui è stata posta uguale a zero nell'espressione di cui sopra. Ma nell'Universo primordiale la dipendenza del potenziale V dalla temperatura era cruciale. La transizione di fase elettrodebole è avvenuta attorno ai 100 GeV di temperatura proprio perché a quella temperatura il segno del parametro μ^2 è cambiato, passando da positivo a negativo, il VEV di H è passato da 0 a un valore non nullo v .

Sempre nel momento della transizione di fase elettrodebole, oltre ad avere i bosoni di gauge della "simmetria rotta" che vengono a prendere massa, avviene un altro fatto decisivo per le particelle elementari di materia, i *quark* e i *leptoni* del plasma primordiale: da particelle senza massa esse prendono una massa che dipende dalla forza della loro interazione col campo di Higgs. Le costanti di accoppiamento tra un fermione e il campo di Higgs si chiamano *costanti di Yukawa*. Ogni fermione ha una sua costante di Yukawa: si va dall'elettrone la cui costante di Yukawa è di ordine 10^{-6} al quark top per il quale l'accoppiamento con il campo di Higgs è massimo, cioè la costante di Yukawa è di $O(1)$. Si noti che c'è un'unica, ma importante eccezione: nel caso della *massa dei neutrini*, questa potrebbe provenire solo in parte dal meccanismo di accoppiamento con il campo di Higgs appena descritto. Infatti, i neutrini, e solo loro, possono possedere un altro tipo di massa, chiamato *massa di Majorana*, che può esser data al neutrino senza alcun accoppiamento

con il bosone di Higgs del SM.

Purtroppo, il Modello Standard non fornisce alcuna predizione sul valore di queste costanti di Yukawa. Possiamo però risalire al valore degli accoppiamenti del bosone di Higgs con i fermioni a posteriori dopo aver misurato le masse dei fermioni (dato che $m_f = h_f \times v$, con $\langle H \rangle = v$ dedotto dalla misura della massa del bosone W , possiamo calcolare la costante di Yukawa del fermione f , h_f).

In conclusione, sia perché previsti dalla teoria SM (gli accoppiamenti dell'Higgs ai bosoni di gauge) che perché dedotti dalle misure (gli accoppiamenti dell'Higgs ai fermioni), noi conosciamo come il bosone di Higgs del SM si accoppia con tutte le altre particelle, sia di materia che di radiazione. Per completare il suo identikit mancava però una cruciale informazione, il valore della sua massa. Tale valore dipende dai parametri μ e λ del potenziale V . Una combinazione di questi due parametri fornisce $\langle H \rangle = v$, che è noto. Purtroppo l'altra combinazione non è nota e quindi la massa del bosone di Higgs non può essere predetta nel contesto della teoria SM neppure dopo aver misurato le masse di tutte le altre particelle elementari del SM.

3 Il bosone di Higgs tra "virtualità" e "realità"

Uno degli aspetti più profondi ed affascinanti della teoria di campo quantistica è che nel processo fisico in cui uno stato di particelle A va ad uno stato di particelle B, possono intervenire quali stati intermedi particelle C che sono "virtuali", particelle cioè che non potrebbero essere create quali stati fisici perché non c'è abbastanza energia a disposizione. Queste particelle "nascono" e "muoiono" in un brevissimo intervallo di tempo Δt durante il quale, secondo una nota relazione di indeterminazione di Heisenberg, vi è una grande indeterminazione

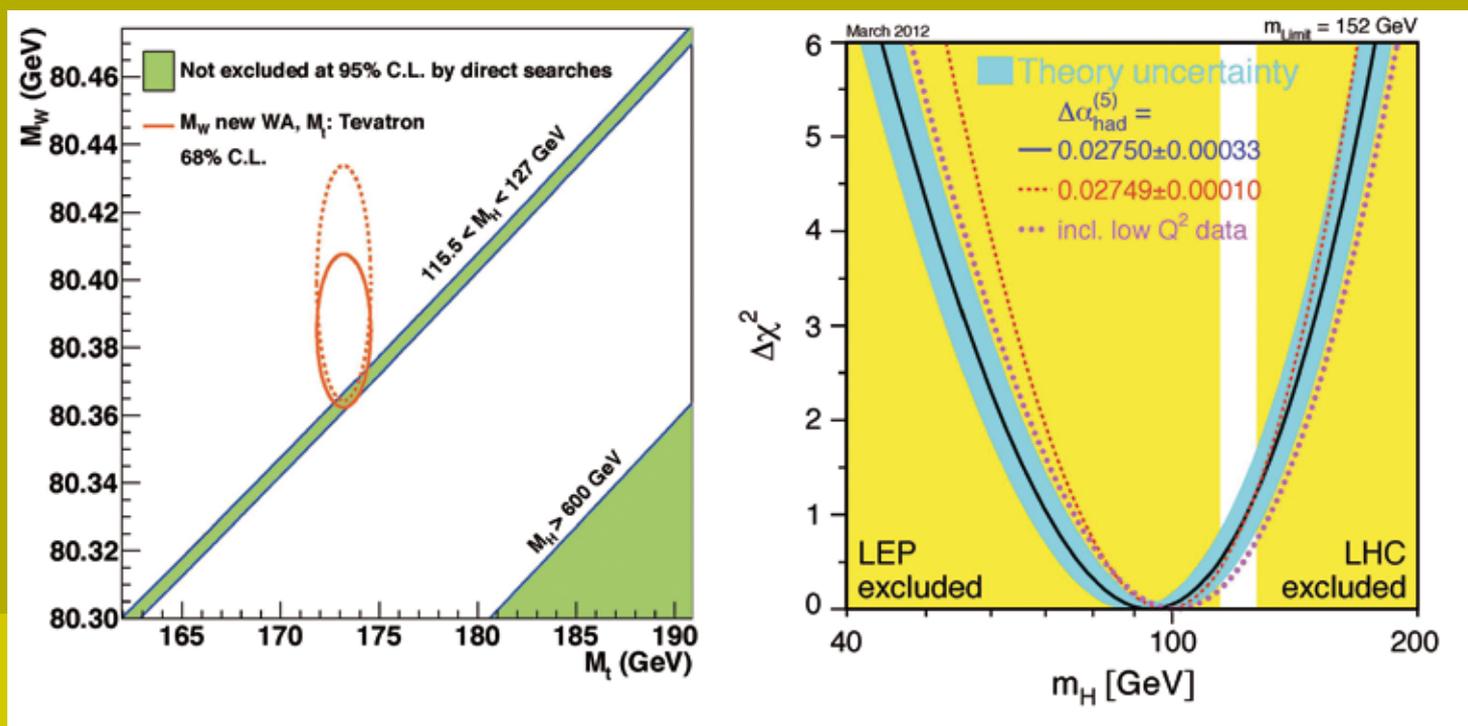


Fig. 1 La figura di sinistra mostra che i valori misurati al Tevatron per le masse del top e del W implicano che l'Higgs che corre come particella virtuale nelle correzioni radiative alle quantità elettrodeboli deve essere leggero (la banda verde che tocca inferiormente l'ellisse di valori possibili per le masse misurate di top e W corrisponde ad un bosone di Higgs di massa racchiusa tra il limite dato da LEP di circa 115 GeV e un valore di circa 130 GeV; la figura di destra giunge al medesimo risultato facendo un fit delle varie quantità elettrodeboli misurate con grande precisione a LEP e Tevatron al variare della massa del bosone di Higgs (tratta da [4]).

ΔE sull'energia presente. È così, ad esempio, che abbiamo "visto" per la prima volta il quark top, quale particella virtuale, in esperimenti in cui le energie a disposizione erano 20 volte più basse della massa del top e quindi non si sarebbe mai potuto produrlo come particella fisica. La stessa tecnica per osservare la presenza virtuale del bosone di Higgs in processi fisici è stata applicata nei test di precisione dei processi elettrodeboli. Il risultato è chiaro (vedi fig. 1): viene favorita la presenza di un bosone di Higgs "leggero", cioè con massa sotto i 200 GeV [4]. Purtroppo, dato che la massa del bosone di Higgs entra solo con una dipendenza logaritmica nei contributi radiativi alle quantità elettrodeboli misurate, è difficile essere più precisi sulla determinazione della massa dell'Higgs.

4 Meccanismo di Higgs senza bosone di Higgs?

Weinberg e Salam hanno adottato la proposta di Higgs *et al.* per implementare il meccanismo di Higgs nel caso della rottura spontanea della simmetria elettrodebole mediante l'introduzione di un bosone scalare elementare (cioè non composto da particelle più piccole), il bosone di Higgs per l'appunto. Ma, curiosamente, il meccanismo di Higgs può essere benissimo realizzato senza postulare l'esistenza di un bosone di Higgs. Anzi, a dir la verità, prima del 4 luglio scorso, le uniche due evidenze di meccanismo di Higgs che avevamo indicavano un altro modo scelto dalla Natura per rompere spontaneamente delle simmetrie continue (anche se non di gauge). Sia nel caso della fisica dello stato solido con le coppie di

Cooper nella superconduttività che in quello di fisica delle particelle legato alla rottura della simmetria chirale nella Cromodinamica Quantistica (QCD), l'artefice della rottura di simmetria non era il VEV di un bosone scalare elementare, bensì il VEV di un condensato scalare costituito da fermioni elementari (elettroni per le coppie di Cooper, quark-antiquark per la rottura della simmetria chirale). Potrebbe anche il meccanismo di Higgs del SM essere realizzato da un condensato fermionico senza bisogno di introdurre il bosone di Higgs? Va innanzitutto detto che le interazioni forti del SM potrebbero già da sole rompere spontaneamente la simmetria elettrodebole $SU(2) \times U(1)$ realizzando la condensazione di coppie di quark-antiquark. Il punto è che dato che questi condensati si formano a un centinaio

di MeV, la massa del bosone W che ne risulterebbe sarebbe circa un migliaio di volte più piccola rispetto a quella osservata. Si potrebbe però ipotizzare l'esistenza di una nuova interazione che produrrebbe la condensazione di nuovi quark-antiquark ad una scala attorno al centinaio di GeV. In questo caso potrebbe non esistere alcun bosone scalare elementare in natura, in altre parole non esisterebbe il bosone di Higgs, ma un condensato fermionico prodotto da nuove interazioni fondamentali presenti in Natura. Questa della rottura dinamica della simmetria elettrodebole in alternativa all' Higgs quale particella elementare non è l'unica possibilità. Addirittura, potrebbe esserci il meccanismo di Higgs senza bisogno di avere un Higgs, sia esso particella elementare o composta. In presenza di nuove dimensioni spazio-temporali in aggiunta alle $3 + 1$ a cui siamo abituati, potremmo avere simmetrie esatte nel mondo con extra dimensioni, che risultano invece rotte quando viste da chi come noi abita su una "sezione" $3 + 1$ dimensionale che è il nostro spazio-tempo. Insomma non c'è dubbio che stabilire l'esistenza o meno del bosone di Higgs diventa una priorità per capire come è fatto e come si è sviluppato il nostro Universo.

5 Siamo sicuri di avere trovato il bosone di Higgs?

Ho detto sopra che conosciamo tutti gli accoppiamenti del bosone di Higgs con le altre particelle, ma non sappiamo quale sia la sua massa. Naturalmente, allora, uno può calcolare, in funzione della massa incognita del bosone di Higgs, in esperimenti di collisione (in cui si scontrano fasci di elettroni e positroni, come avveniva al LEP del CERN, oppure di protoni e antiprotoni, come al Tevatron del Fermilab di Chicago, o ancora di protoni e protoni, come al LHC del CERN oggi) sia la probabilità che esso venga prodotto sia i suoi canali di decadimento una volta prodotto con

le relative probabilità (i suoi cosiddetti *branching ratios* di decadimento). Si tratta poi di tener conto di processi che possano mimare il comportamento di un bosone di Higgs (sottrazione del "fondo") e di confrontare il risultato con i dati sperimentali. Proprio la difficoltà di "vincere" contro l'enorme fondo presente negli urti di protoni a 8 TeV di energia nel centro di massa ha costretto gli esperimenti ATLAS e CMS all'LHC del CERN a cercare la presenza del bosone di Higgs guardando a suoi canali di decadimenti rari (esempi in [fig. 2](#)). È il caso del decadimento dell'Higgs in due fotoni; essendo il bosone di Higgs elettricamente neutro non vi è alcun suo accoppiamento diretto con i fotoni, ma $H \rightarrow \gamma\gamma$ può avvenire grazie ai contributi di stati intermedi virtuali, quali il quark top o il bosone W, come è stato sopra descritto. Sia ATLAS che CMS trovano una produzione $\gamma\gamma$ del tipo sopraddetto ben al di sopra di quanto si avrebbe da eventi di fondo non imputabili al decadimento di H. Anzi, addirittura tendono a trovarne di più di quanti ci aspetteremmo dal decadimento del bosone di Higgs del SM (cfr. [fig. 3](#)). Tuttavia, la statistica degli eventi è ancora troppo bassa per trarre conclusioni sulla compatibilità o meno con l'Higgs del SM: entro 2σ entrambi gli esperimenti sono compatibili con la predizione del SM per $H \rightarrow \gamma\gamma$. Quello che invece è ormai certo (visto che sia ATLAS che CMS lo danno con una precisione a livello di 5σ) è che è stata scoperta una particella che è un bosone (spin intero) e che ha caratteristiche molto vicine a quelle del bosone scalare (spin 0) di Higgs del SM (almeno per gli accoppiamenti sin qui visti, essenzialmente quelli con i bosoni di gauge γ , Z e W). La sua massa, come si vede dalla [fig. 3](#), è attorno ai 125 GeV. Ci aspettiamo che ATLAS e CMS entro la fine dell'anno arrivino a raccogliere il doppio del numero di eventi finora raccolti. Questo significativo aumento della statistica degli eventi, che potrà essere reso

ancor più incisivo combinando insieme i dati dei due esperimenti, ci porterà a una interessante determinazione dei 6 accoppiamenti del bosone di Higgs, quelli di gauge con $\gamma\gamma$, WW e gg (g = gluone) e quelli fermionici, con i quark b e t e con il leptone τ . Il confronto di questi risultati con le previsioni del SM per questi 6 accoppiamenti potrà darci una risposta abbastanza precisa su quanto sia "standard" il bosone di Higgs trovato.

Dico "abbastanza precisa" perché è noto che se una macchina adronica (un acceleratore, cioè, in cui si scontrano particelle con interazioni forti come i protoni) può rappresentare una splendida "macchina da scoperta", presenta però dei limiti quale "macchina di studio dettagliato" di quanto trova, dato l'enorme fondo prodotto in tali urti adronici. Per uno studio dettagliato delle proprietà del bosone scalare appena trovato avremmo bisogno di una macchina leptonica, ad es. un *acceleratore lineare* in cui vengono fatti scontrare elettroni e positroni, come avveniva a LEP, ma ad un'energia più alta di quella di LEP e tale da avere una copiosa produzione di bosoni di Higgs (*Higgs boson farm*).

6 La massa del bosone di Higgs e il destino dell'Universo

È stato detto sopra che il bosone di Higgs o, per meglio dire, la particella con caratteristiche simili al bosone di Higgs, che è stato scoperta ha massa vicina a 125 GeV. Questo valore della massa ci fornisce un quadro interessante e per certi versi sconcertante sullo stato di vuoto con simmetria $U(1)_{em}$ in cui l'Universo si è venuto a trovare da 10^{-11} s dopo il Big Bang ad oggi. 125 GeV di massa del bosone di Higgs corrispondono ad una situazione di "metastabilità", ovvero il vuoto "vero" del sistema fisico Universo non sarebbe quello con simmetria $U(1)_{em}$, ma, per nostra fortuna, la transizione dal vuoto "falso"



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:08:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000

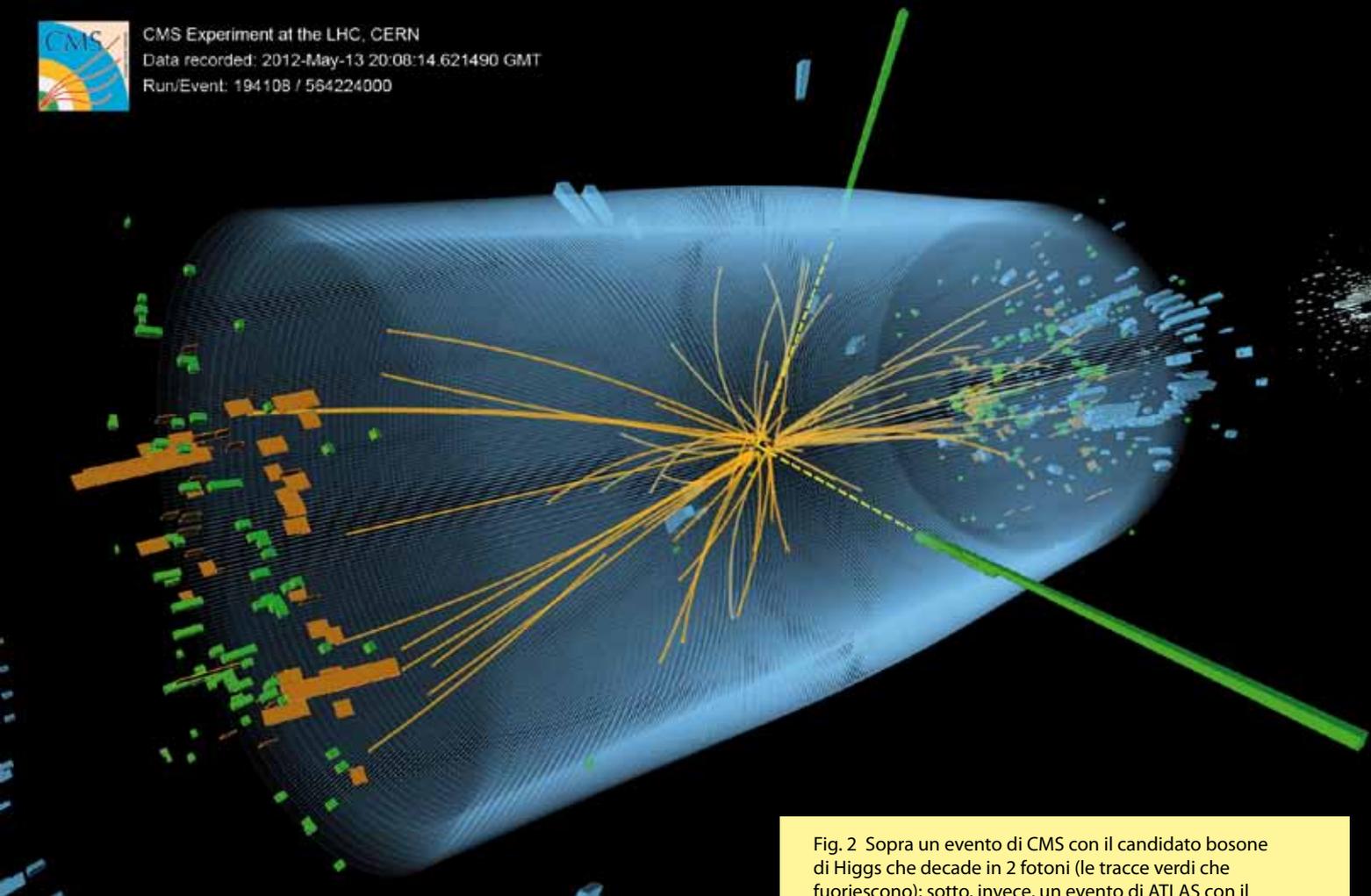
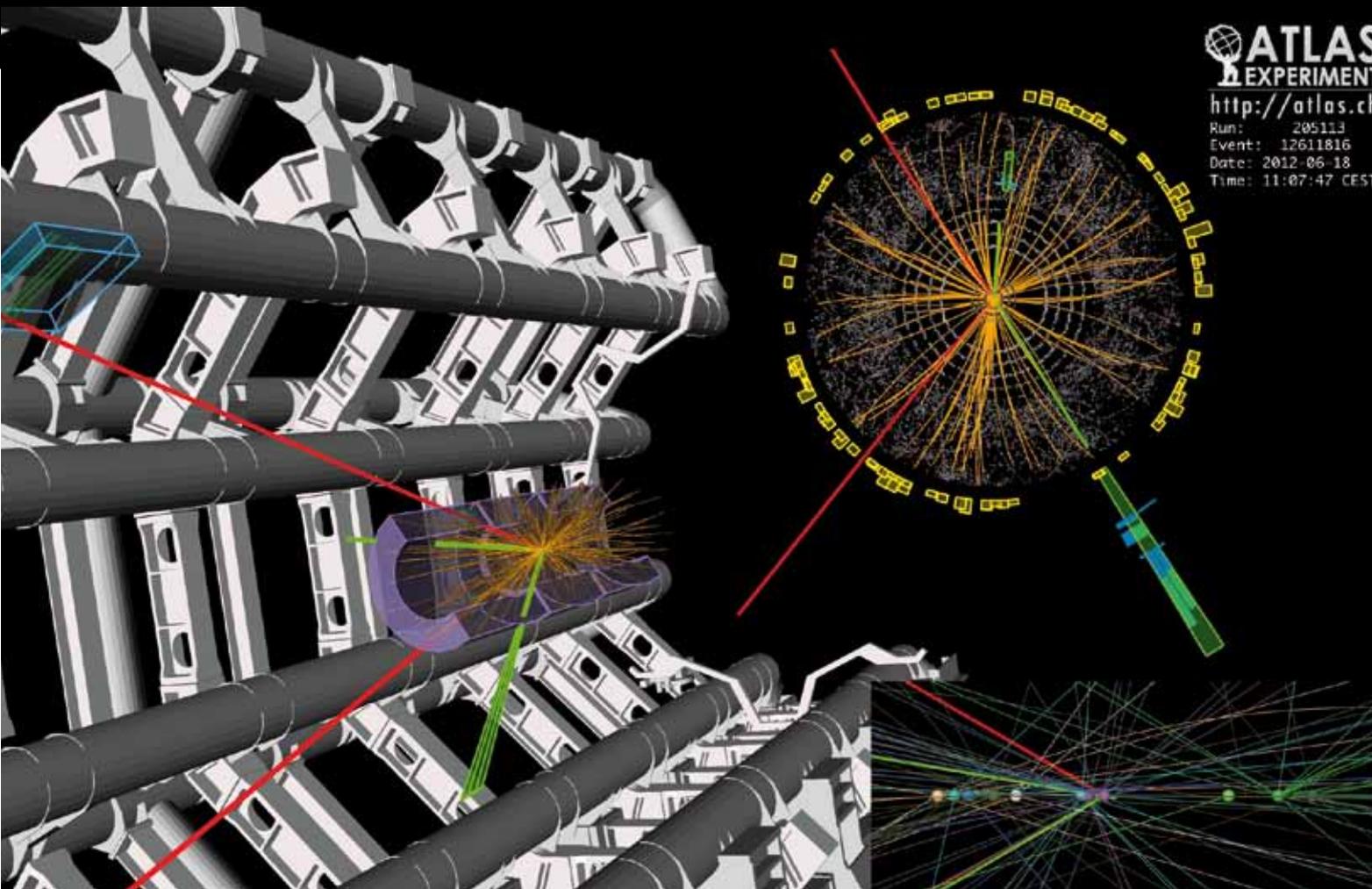


Fig. 2 Sopra un evento di CMS con il candidato bosone di Higgs che decade in 2 fotoni (le tracce verdi che fuoriescono); sotto, invece, un evento di ATLAS con il candidato bosone di Higgs che decade in 4 leptoni, una coppia muone-antimuone (le tracce rosse) e una coppia elettrone-positrone (le tracce verdi). © Cern, Geneva.



ATLAS
EXPERIMENT
<http://atlas.ch>
Run: 205113
Event: 12611816
Date: 2012-06-18
Time: 11:07:47 CEST

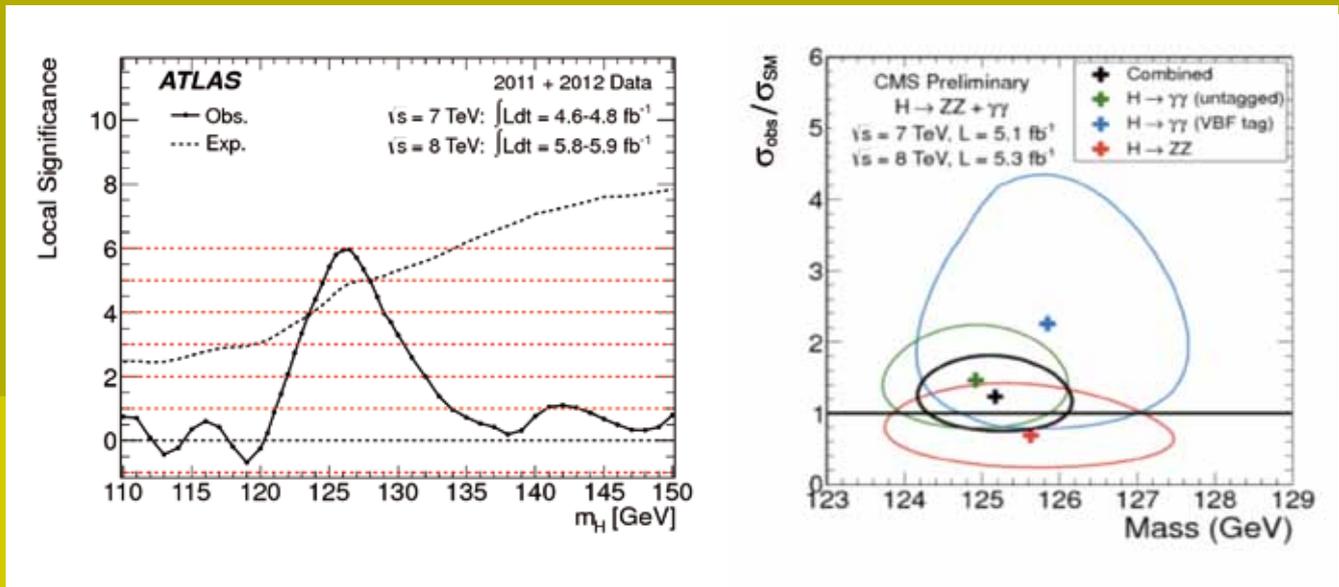


Fig. 3 Evidenza di ATLAS e CMS della presenza di una particella con caratteristiche simili a quelle del bosone di Higgs del Modello Standard nella regione attorno ai 125 GeV. Nella figura di destra CMS riporta il rapporto tra i tassi di decadimento del bosone di Higgs osservati nei singoli canali fotone-fotone e ZZ rispetto a quelli predetti nel SM (riprodotta da [6]); si nota un eccesso nel canale fotone-fotone (comunque compatibile con la sezione d'urto SM entro 2 sigma). (Si ringraziano le collaborazioni ATLAS e CMS per aver fornito i grafici.)

in cui è oggi l'Universo a quello "vero", instabile con un potenziale che va a $-\infty$, richiederebbe un tempo ben più lungo dei 13,5 miliardi di anni che ci separano dal Big Bang. Fra l'altro, per quanto tempo ancora l'Universo dovrebbe restare nel presente vuoto falso dipenderebbe ancora una volta dal preciso valore della massa del bosone di Higgs. Accanto a questa, l'altro parametro fondamentale per stabilire la durata della fase metastabile è il valore della massa del quark top. Per una discussione approfondita si veda ref. [5] da cui è tratta la figura presente nell'infografica di fig. 4. .

7 La massa del bosone di Higgs e la nuova fisica al di là del SM

Fin dagli anni '70 è apparso chiaro che una massa del bosone di Higgs dell'ordine della scala di energia a cui si rompe (spontaneamente) la simmetria di gauge elettrodebole può rappresentare un serio problema nel contesto di una teoria di campo

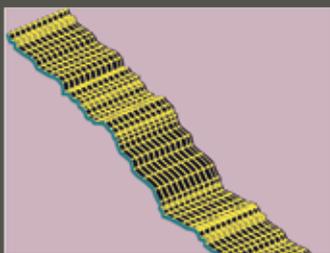
quantistica quale è il SM. Per apprezzare questo punto, immaginiamo di avere una teoria di campo che descrive una fisica che avviene a due scale di energia molto diverse tra loro, chiamiamole m e M , con $m \ll M$. Supponiamo anche che ci siano fermioni, bosoni vettoriali di gauge e bosoni scalari di Higgs che vivono alla scala m . Ad es., m potrebbe corrispondere alla scala elettrodebole (tra 100 e 1000 GeV), mentre M potrebbe essere la scala di energia a cui le interazioni forti ed elettrodeboli si unificano, con M di $O(10^{16}$ GeV). Altre particelle, ad es. nuovi bosoni di gauge relativi alla simmetria che descrive la nuova interazione unificata alla scala M , avrebbero massa di $O(10^{16}$ GeV). Nella Lagrangiana che descrive la fisica di questo sistema a due scale di energia non ci sarebbe problema a dare massa m alle particelle che devono restare leggere (cioè tutte le particelle del SM, incluso il bosone di Higgs) e invece massa M alle nuove particelle superpesanti proprie della nuova interazione unificata alla scala M .

Il problema sorge quando si consideri che la fisica è qui descritta da una teoria di campo quantistica. In questo contesto, le particelle fisiche leggere possono interagire con le particelle superpesanti che compaiono quali particelle virtuali nelle "correzioni radiative" che la teoria apporta a quanto da noi fissato a mano nella lagrangiana di partenza. Mentre le masse dei fermioni e dei bosoni di gauge del SM richiedono che la simmetria elettrodebole sia rotta spontaneamente per poter comparire, la massa del bosone scalare di Higgs non è connessa ad alcuna simmetria. La simmetria elettrodebole è rotta attorno ai 100 GeV e, pertanto, qualunque correzione radiativa non potrà mai correggere radiativamente le masse dei fermioni e bosoni vettoriali di gauge portandole molto più in alto di tale scala. La massa del bosone di Higgs non gode della "protezione" della simmetria elettrodebole. In modo del tutto generale, i bosoni scalari della massa m subiranno correzioni radiative che li

L'HIGGS DECIDE IL NOSTRO UNIVERSO

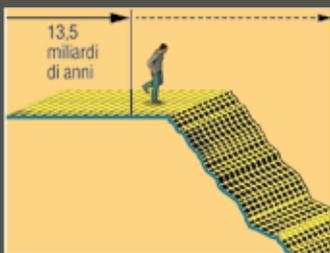
Che cosa significa se ha massa 126 GeV?

Se si tratta del bosone di Higgs previsto dal Modello Standard, allora il nostro universo è metastabile, in altre parole è come se ci stessi dirigendo, molto lentamente, verso un precipizio



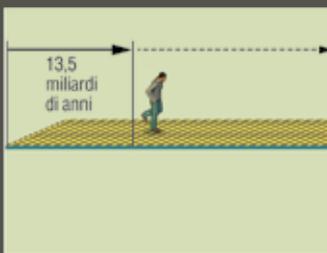
INSTABILITÀ

Con massa dell'Higgs minore di 120 GeV secondo il Modello Standard il nostro universo non esisterebbe. La nostra esistenza dimostrerebbe che è necessario l'intervento di nuova fisica a integrare il Modello Standard



METASTABILITÀ

Con massa dell'Higgs Standard tra i 120-126 GeV il nostro universo va incontro a una trasformazione che lo porterà a una nuova fase, ma ci vorranno miliardi di anni



STABILITÀ

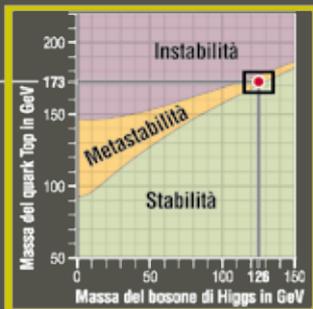
Con massa dell'Higgs Standard maggiore di 126 GeV il nostro universo si conserverebbe così com'è

STRANO MA PROBABILE

Il nostro universo si trova in una regione al confine tra metastabilità e stabilità.

Se la massa del bosone di Higgs assumesse dei valori anche di pochissimo differenti scivoleremmo o nella stabilità o nella instabilità.

Fonte: INFN



Questa ci può sembrare una posizione strana e particolare ma è molto probabile statisticamente.

L'esistenza del nostro universo dipende dal valore della massa del quark Top e di quella del bosone di Higgs.

Fig. 4 Infografica dell'Ufficio Comunicazione INFN (riprodotta per gentile concessione) per illustrare la peculiare situazione metastabile dello stato di vuoto del nostro Universo in relazione ad una massa del bosone di Higgs vicina a 125 GeV. Il grafico riporta le zone di stabilità, metastabilità e instabilità del vuoto del SM in funzione dei valori della massa del bosone di Higgs e di quella del quark top. Il grafico è adattato dalla fig. 5 del lavoro di Degrassi et al. [5].

spingeranno fino a masse dell'ordine della scala M . Di conseguenza, anche il loro VEV diverrebbe di $O(M)$. Ma questo implicherebbe che alla fine il bosone W avrebbe una massa di $O(10^{16} \text{ GeV})$ invece che di $O(100 \text{ GeV})$. Il decadimento β ci dice che non può essere così. Quanto descritto (in modo piuttosto semplificato) è noto come "problema della gerarchia di gauge" e costituisce la ragione più forte per cui riteniamo che vi sia nuova fisica oltre il SM ad una scala di energia vicina a quella della rottura elettrodebole, cioè attorno al TeV. Chiaramente, se c'è, questa nuova fisica non può sfuggire alla fantastica "macchina da scoperta" che è LHC.

Tutte le proposte fatte per curare il problema della gerarchia di gauge del SM comportano nuova fisica al TeV. Le tre possibilità più studiate sono: i) la presenza di nuova simmetria, la *Supersimmetria* (SUSY) in grado di "ruotare" un fermione (spin semintero) in un bosone (spin intero) e viceversa; ii) la presenza di *nuove dimensioni*

spazio-temporali per cui l'estrema debolezza dell'interazione gravitazionale potrebbe essere dovuta al fatto che la varietà quadridimensionale in cui noi viviamo si trova immersa in uno spazio a ben più dimensioni che assorbe gran parte delle linee di forza gravitazionale tra due oggetti che si attirano; iii) non esistono bosoni scalari elementari in natura, ma la rottura spontanea della simmetria elettrodebole viene ascritta alla *dinamica di nuove interazioni forti* che porterebbero al VEV di condensati di nuovi fermioni.

Il meccanismo di Higgs per la rottura della simmetria elettrodebole diventa il cardine per la giustificazione e l'identificazione di una nuova fisica al di là del SM a scale vicine al TeV e quindi con signature visibili a LHC. Nel settore di Higgs, in generale la nuova fisica al TeV comporta delle deviazioni dal caso del SM con il solo bosone di Higgs "standard". Ad esempio, l'estensione supersimmetrica del SM presenta, nel caso minimale in cui viene introdotto il numero minimo di particelle partner

SUSY di quelle standard, un settore di Higgs molto più ricco di quello del SM: vi sono ben tre bosoni scalari neutri e un bosone scalare carico di carica elettrica $Q = 1$. Il più leggero di quelli neutri può essere molto simile al bosone di Higgs del SM. Nel caso gli altri quattro risultino essere pesanti, con massa $> 1 \text{ TeV}$ potrà essere difficile osservarli a LHC. Oltre che cercare le particelle SUSY quale sicura segnatura della presenza di SUSY al TeV, sarà molto importante procedere ad uno studio dettagliato delle proprietà del bosone di Higgs osservato a 125 GeV per coglierne eventuali differenze con quello "standard" previsto nel SM. La possibilità di avere una macchina acceleratrice elettroni-positroni, come sopra menzionato, per questo studio dettagliato appare essere la via maestra per discriminare tra il bosone di Higgs standard e il bosone di Higgs più leggero di un'estensione SUSY del SM in cui le particelle SUSY abbiano massa maggiore di qualche TeV.

8 La massa del bosone di Higgs e il multi-verso

Possediamo chiare indicazioni che vi sia nuova fisica al di là del SM: la massa dei neutrini, la presenza di materia ed energia oscura, l'asimmetria cosmica tra materia e antimateria, l'assenza della gravitazione tra le interazioni fondamentali trattate quantisticamente nel SM. Tuttavia, nessuna di queste indicazioni ci dice a quale scala di energia la nuova fisica dovrebbe farsi sentire. Per quanto ne sappiamo, i problemi menzionati potrebbero trovare risposta in una nuova fisica presente a scale molto alte, ad es. alla scala di grande unificazione di $O(10^{16} \text{ GeV})$ o alla scala in cui le extra dimensioni della teoria di stringa si compattificano vicino alla scala di Planck di $O(10^{19} \text{ GeV})$. La massa del bosone di Higgs responsabile della rottura della simmetria elettrodebole è l'unica forte ragione, tecnicamente descritta come "problema della gerarchia di gauge" del SM, per farci ritenere che almeno parte della nuova fisica legata ai problemi aperti soprammenzionati si trovi alla scala del TeV e quindi accessibile ai nostri esperimenti a LHC.

Vi è, tuttavia, un'altra possibilità, radicalmente diversa, per dar ragione del peculiare valore della massa del bosone di Higgs, cioè di un valore così piccolo senza che vi sia alcuna simmetria che lo protegga in una teoria di campo con scale di energie molto più alte. Vi è un'altra quantità che appare essere straordinariamente "piccola" dalle nostre osservazioni sulla storia della velocità di espansione dell'Universo. Si tratta della cosiddetta "costante cosmologica", l'energia del vuoto dell'Universo, la quantità che è alla base della sua sorprendente espansione accelerata. Entrambi questi problemi di "gerarchia", cioè come mantenere piccole quantità che in una teoria di campo tenderebbero a diventare molto grandi per effetto delle correzioni radiative quantistiche, potrebbero essere visti come segnali che il nostro Universo presenta una delle possibili scelte dei parametri fondamentali, anzi l'unica scelta che gli fornisce le caratteristiche sue proprie. Vi sono infinite altre scelte di valori di questi parametri che condurrebbero a universi molto diversi dal nostro. Ad esempio, in una teoria di stringa vi sono moltissimi stati di vuoto con lo stesso valore di energia (quindi di egual preferenza dal punto di vista energetico), ciascuno caratterizzato da un set di valori dei parametri fondamentali che determinano la massa del bosone di Higgs

o il valore della costante cosmologica. Ciascuno di questi vuoti potrebbe essere lo stato di vuoto di un differente universo. In questo multi-verso, il nostro Universo sarebbe quello caratterizzato, ad esempio, dal valore della massa del bosone di Higgs di 125 GeV.

9 Conclusioni

Il Modello Standard si situa nel solco delle grandi conquiste nella comprensione dell'unificazione delle interazioni fondamentali (una strada tracciata dall'insuperabile unificazione dei moti celesti e terrestri nella Gravitazione Universale di Newton e proseguita con l'unificazione di elettricità e magnetismo nell'elettromagnetismo di Maxwell). Il bosone di Higgs è l'elemento-chiave della costruzione. Non solo l'esistenza, ma anche il valore preciso della massa e degli accoppiamenti del bosone di Higgs rappresentano un ingrediente cruciale per comprendere la storia e l'evoluzione dell'Universo e per indicarci come procedere nella ricerca di nuova fisica al di là del Modello Standard.

Bibliografia

- [1] J. Incandela, talk on behalf of the CMS Collaboration at CERN, 4th July, 2012, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB//ShowDocument?docid=6125>
- [2] F. Gianotti, talk on behalf of the ATLAS Collaboration at CERN, 4th July, 2012, <https://cms-docdb.cern.ch/cgi-bin/PublicDocDB//ShowDocument?docid=6126>
- [3] Una discussione approfondita, ma non specialistica, del connubio interazioni fondamentali – simmetrie di gauge e meccanismo di Higgs può essere trovata nel numero 11 della rivista *Asimmetrie* dell'INFN intitolato "Simmetrie" (è scaricabile dal sito <http://www.asimmetrie.it/archivio.php>). Dallo stesso sito si può scaricare il numero 8 della rivista "Il bosone di Higgs".
- [4] R. Lopes de Sá, for the CDF Collaboration, for the D0 Collaboration *Precise measurements of the W mass at the Tevatron and indirect constraints on the Higgs mass*, presentato a Moriond QCD 2012, arXiv:1204.3260v2 [hep-ex].
- [5] G. Degrossi, S. Di Vita, J. Elias-Miro, J. R. Espinosa, G. F. Giudice, G. Isidori e A. Strumia "Higgs mass and vacuum stability in the Standard Model at NNLO", CERN-PH-TH-2012-134, RM3-TH-12-9, e-Print: arXiv:1205.6497 [hep-ph].
- [6] CMS Collaboration, "Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC", <http://arxiv.org/abs/1207.7235>, in pubblicazione in *Phys. Lett. B*, 2012.

Antonio Masiero

Antonio Masiero è Professore Ordinario di Fisica Teorica all'Università di Padova e, dall'inizio di quest'anno, è Vice-presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN). Dopo aver lavorato per circa otto anni in prestigiosi istituti di ricerca stranieri (tra cui il CERN, il Max Planck Institut für Physik und Astrophysik di Monaco di Baviera, l'Università di Ginevra e la New York University), è stato per vari anni ricercatore INFN e poi professore all'Università di Perugia, alla SISSA di Trieste e, dal 2011, all'Università di Padova. Dal 2006 all'anno scorso ha diretto la Sezione di Padova dell'INFN. La sua attività scientifica si rivolge alla fisica delle particelle e alla fisica astroparticellare, con particolare riferimento a quelle problematiche di fisica oltre il Modello Standard che toccano aspetti all'intersezione tra fisica particellare, astrofisica e cosmologia. È autore di più di 200 lavori, è stato speaker a più di 150 conferenze, workshop e scuole. Svolge un'intensa attività divulgativa.

A QUANTUM DIGITAL UNIVERSE

QUANTUM INFORMATION HELPS FOUNDATIONS OF PHYSICS

GIACOMO MAURO D'ARIANO

Dipartimento di Fisica, Università di Pavia, Pavia, Italy

INFN, Gruppo IV, Sezione di Pavia, Pavia, Italy

Quantum Information is a very interesting new discipline. It has become very popular in the last few years because it brings together a menagerie of branches of knowledge, putting in connection natural scientists – physicists, mathematicians, chemists – with computer scientists, engineers, and even philosophers, all within a single new field that spawns new technology and raises new broad fundamental problems. What makes Quantum Information unique is that, in order to bring its new technology to fruition, we are left with no choice but to probe the limits of quantum physics, pushing its boundaries both theoretically and experimentally.

1 Introduction: the lesson of Quantum Information

Within the history of Quantum Information it is really fascinating to witness the evolution of the original notion of “information processing” from computer science toward a completely new and amazing concept of computation, which almost reverses the relation between mathematics and physics, in the sense that it is now physics that algorithmically “solves” a mathematical problem. This is exactly what the famous Shor’s algorithm does in factoring integers with an exponential speedup compared to known classical algorithms. Rolf Landauer was used to say that “Information is Physical”: but this is not surprising if we regard bits as necessitating a physical support to be written on. But now we are declaring the converse, namely: “Physics is Informational” – a weird and much more intriguing assertion. The physical process becomes itself a computation. A computation that does not use bits: it uses qubits (quantum bits). We have a completely new notion of information: an information that remains secret during the entire processing, and becomes openly known – *i.e.* “classical” – only at the very output, where it is read by a measurement process. A kind of information that cannot be eavesdropped even in principle, since it cannot be “cloned” [1, 2]¹. The computational process is thus identified with the “Schrödinger cat” quantum quintessence: the information processing represents the coherent quantum evolution with the cat in superposition of “dead” and “alive” states (the bit value is both “0” and “1”), whereas the readout at the output represents the von Neumann collapse, with the cat being either dead or alive (the bit is either “0” or “1”).

¹ The “no-cloning theorem” [1] signed the beginning of the Quantum Information era. The theorem is also equivalent to the impossibility of measuring the state of a single quantum system [2].

BOX 1

“Where the rules come from?”



“Nobody understands quantum mechanics!”

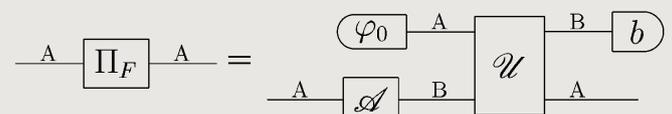
Quantum Mechanics is normally presented with axioms about abstract mathematical entities, like Hilbert spaces, unit vectors, and self-adjoint operators. The theory provides rules to compute the probabilities of different outcomes in an experiment, very successful rules that are confirmed by an enormous amount of experimental data. However, the physical content of these rules has been always mysterious. Richard Feynman once remarked “I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics” [5]. And John Wheeler said [6]: “Balancing the glory of quantum achievements, we have the shame of not knowing ‘how come’. Why does the quantum exist?”. The need for a more fundamental understanding was clear since the early days of Quantum Theory [7]. The birth of Quantum Information Science has given new ideas to attack the problem.

For what said above it is no wonder that in the last ten years Quantum Information has spawned such an unprecedented revival of interest in foundations of Quantum Theory. The new Quantum Information Science has given new ideas on how to attack quantum foundations, showing how quantum mechanics can offer the possibility for new surprising information-processing protocols. The excitement for these new discoveries has led many researchers to believe that information is the key to the solution of the mystery of quantum mechanics [3, 4] (see [box 1](#)). These ideas followed Wheeler’s program “It from bit”, which summarized the idea that “information” is the primitive notion underlying physics (see [box 2](#)).

2 Quantum Theory is a theory of information

Quantum Theory is a theory of information, a special kind of information that in principle is never erased. Recently Quantum Theory has been derived from six principles of purely informational nature [8–10]². Five of these principles – i) causality, ii) local distinguishability, iii) perfect distinguishability, iv) atomicity of composition, v) ideal compressibility – are natural axioms, true for both classical and Quantum Information, and define a large class of information theories. A sixth principle – vi) purification – is the Postulate that singles out Quantum Theory, as the parallel postulate singles out Euclidean geometry among different geometries.

The general information-theoretical framework hinges around the notion of “event”, which can occur probabilistically, and has inputs and outputs “systems”. A complete collection of such events occurring with overall unit probability is called “test”. Physically a test corresponds to a measurement instrument, and the systems are just the “physical systems”. Informationally, tests and events represent subroutines, and the systems are registers on which information is read and written. In Quantum Information the tests/events are probabilistic gates, whereas the systems are qubits or general quantum systems (see [fig. 1](#)). A special case of gate is the usual unitary gate. As for the usual quantum circuits, test and events are represented by boxes with input and output wires (the systems): the output wires of a box are connected to input wires of other boxes, without making circuit loops. One writes down circuit equations as the following one (from ref. [8]):



BOX 2

“It from Bit”



John Archibald Wheeler (mentor of Richard Feynman and inventor of the word “black hole”) speculated that the universe’s ultimate building block and most intimate mechanism might be information. “It from Bit” was the aphorism that he coined to describe this idea.

² The work [8] is the subject of the viewpoint [9], and is the conclusion of a decennial research line (see the previous work [10])

Boxes with a rounded side with no input wire represent “states” (preparation events, or else, input of the processing), whereas boxes with no output wire represent “effects” (observation events, namely final output of the processing).

The six informational principles, stated in simple informal language are the following.

Axiom 1

Causality: the probability of an event does not depend on which tests are connected to output (“information flows only from the input to the output”). This axiom is also called “no signaling from the future”, meaning that the probability of an outcome at a certain time does not depend on the choice of experiments that will be performed at later times. It also implies the “no-signaling without interaction”, (generally called simply no-signaling), which is just the Einstein causality principle.

Axiom 2

Local distinguishability: We can discriminate joint states of multiple systems by measurements on single systems. This axiom is also called local tomography, since it means that the state of a composite system can be completely determined by the joint statistics of local measurements performed over the components (see fig. 2). This axiom is the origin of the complex tensor product of quantum theory, e.g. the axiom is not satisfied by quantum theory over real Hilbert spaces.

Axiom 3

Perfect distinguishability: If a state is not compatible with some preparation, then it is perfectly distinguishable from some other state. This means that if we have some definite information about a state, we are also able to experimentally verify/falsify it with certainty.

Axiom 4

Atomicity of composition: The sequence of two atomic processes is atomic. We call “atomic” a subroutine (process) that cannot be obtained as a random choice of two inequivalent subroutines. In simple words, this principle establishes that “maximal knowledge of the episodes implies maximal knowledge of the full history”.

Axiom 5

Compression: Information can be compressed in a lossless and maximally efficient fashion. This is the axiom that introduces the notion of subsystems, e.g. the qubit is a subsystem of the “qutrit”, the bit a subsystem of the “trit”.

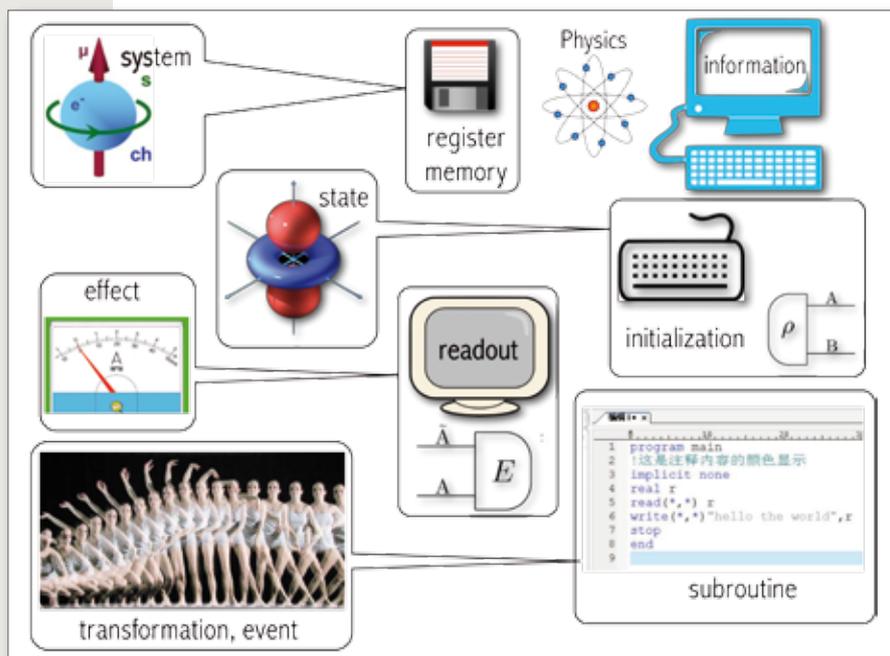


Fig. 1 Quantum Theory is a Theory of Information. Here illustrated the basic translation rules between the language of Physics and that of information processing.

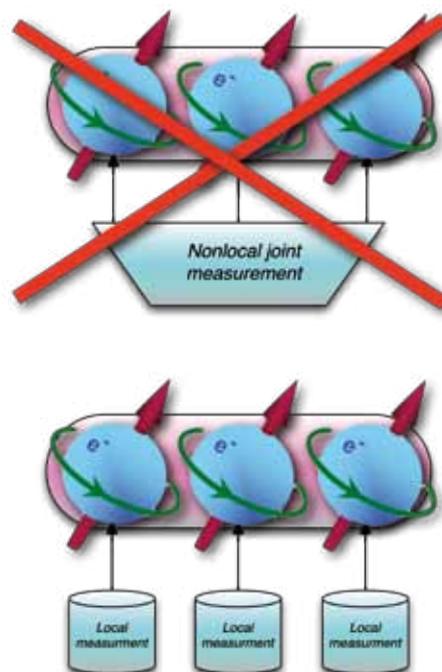


Fig. 2 Illustration of Axiom 2.

The Purification Postulate

Purity and Reversibility of Physical Processes: Every process can be simulated (in an essentially unique way) as a reversible interaction of the system with a pure environment. In simple words the postulate states that every transformation can be simulated by a reversible one, by adding auxiliary input systems in a pure state. Shortly: irreversibility and mixing can be always regarded as due to discarding an “environment”, otherwise everything can be described in terms of pure states and reversible transformations. Another informal way of stating the principle is that ignorance about a part is always compatible with the maximal knowledge about the whole.

The six new principles represent a core of epistemological laws that are at the basis of science itself. For example, the causality axiom guarantees in principle the local control of the experiment. Indeed, how can we rely on any experiment if it could be scrambled from a distance or even from the future? The local discriminability axiom reconciles the “holistic nature” of the physical world with the “reductionist” scientific approach. The perfect discriminability axiom reconciles probabilism with logic, re-establishing the falsifiability of the theory. A similar role is played by the axiom on atomocity of composition.

One of the most innovative aspects of the new informational framework for Quantum Theory is the possibility of a new graphical reasoning, without the detour to the theoretical machinery, something similar to Feynman diagrams: this new kind of reasoning is a cornerstone of contemporary computer science, as pioneered by Abramsky and Coecke in Oxford [11].

3 Informational principles for Quantum Field Theory

The six principles for Quantum Theory have nothing of “mechanical” nature: the “Quantum Theory” derived in ref. [8] is just the abstract *theory of systems* – the mathematical framework of Hilbert spaces, algebra of observables, unitary transformations – and has no bearing on the “mechanics” – *i.e.* particles, dynamics, quantization rules – for which the name “Quantum Mechanics” would be more appropriate. Quantum Mechanics, however, is just the restriction to a fixed number of particles of the more general Quantum Field Theory, which itself is a theory of systems. The only “mechanical” elements remaining in Quantum Field Theory are the so-called “quantization rules” and the path-integral – rules that one may want to avoid in order to have a theory autonomous from the classical one, whereas it should be classical mechanics to be derived as an approximation of Quantum Field Theory via a “classicalization” rule.

But, how can we formulate a field theory that is quantum *ab initio*? We need to add some new informational principles to

the six ones of quantum theory. These are: *the Deutsch-Church-Turing principle*, and *the principle of topological homogeneity*.

The Deutsch-Church-Turing principle: Every physical process describable in finite terms must be perfectly simulated by a quantum computer made with a finite number of qubits and a finite number of gates³.

The principle implies that the density of information is finite (here the information is quantum, and this means that the dimension of the Hilbert space is finite). Richard Feynman himself did like the idea of finite information density, because “*he felt that there might be something wrong with the old concept of continuous functions. How could there possibly be an infinite amount of information in any finite volume?*” [13]. A relevant implication of the Deutsch-Church-Turing principle is *locality of interactions*, namely that the number of quantum systems connected to each gate is finite.

Homogeneity of Interactions: The interactions describing a physical law are homogeneous.

The principle means that the quantum network representing the quantum field is periodic. In the informational paradigm the physical law is represented by a set of connected quantum gates (fig. 3). The physical law experimentally is described by a finite protocol, which theoretically corresponds to a finite quantum algorithm. Thus locality is required in order to define a physical law that is under the local control of the experimenter, whereas homogeneity represents the universality of the law, which is assumed to hold everywhere and ever.

The two new informational principles together with the six ones of Quantum Theory correspond to regarding the quantum field as a quantum cellular automaton. Notice that the Deutsch-Church-Turing principle suggests considering the automata theory not as an approximation, but as an extension of Quantum Field Theory to a very small scale dominated by discreteness, as the Planck scale. The discrete theory is an extension of the continuous one since it is allowed to include localized states and observables, which are not describable in Quantum Field Theory. Localized states are generated with finite superpositions of single-system states over a vacuum that remains locally invariant under the computation.

In the discrete theory there will be no divergencies, neither ultraviolet nor infrared, whereas the path integral becomes

³ In his celebrated paper on universal quantum computers [12] David Deutsch states the principle as follows: “Every finitely realizable physical system can be perfectly simulated by a universal model computer machine operating by finite means.”

a simple finite sum. On the other hand, the old Quantum Field Theory is recovered from the automata theory in the field limit, corresponding to the “thermodynamic” limit for infinitely many quantum systems and infinitely many time steps for the evolution of smooth states, namely superposition of single-system states (over a vacuum background) with coefficients that are varying slowly over the network. In such “digital world” there is no physical unit: time and space are measured by counting events and systems. The digital-analog conversion factors will be given by a time τ expressed in seconds, and length a expressed in meters, to be interpreted as the space and time periods of the automaton – the Planck length and time, respectively. (The Planck length is an astonishingly small quantity, equivalent to 0.1 m as compared to an electron as huge as an entire galaxy!)

4 “Digital” Relativity

What happens to the Relativity principle in the quantum automaton? The Minkowski space-time “emerges” from the pure topology of the quantum computation (see fig. 4), and Lorentz covariance and all continuum symmetries are recovered in the field limit. At the opposite extreme of the Planck scale all continuum symmetries are violated, and there will also be violations of the dispersion relations.

5 The Dirac equation as the free flow of Information

In the digital world Lorentz covariance must emerge from the computation itself. A simple heuristic arguments shows that the equation describing the free flow of information is just the Dirac equation [16]. For simplicity we restrict to one space dimension (the argument can be extended to larger dimensions [17]). In the quantum computer information can flow in a fixed direction only at the maximum speed of one-gate-per-step, since a larger speed would violate causality, whereas a slower speed would need a zig-zag motion (see fig. 5).

In analog units, the maximal speed (which digitally is equal to 1) is given by $c = a/\tau$. Mathematically we describe the information flow in the two directions by the two field operators ψ^+ and ψ^- for the right and the left propagation,

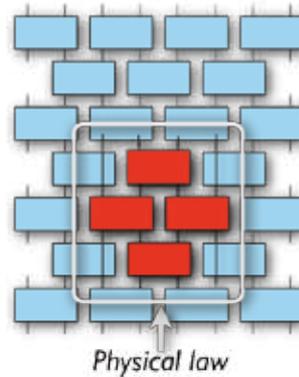


Fig. 3 In the informational paradigm the physical law is represented by a set of connected quantum gates.

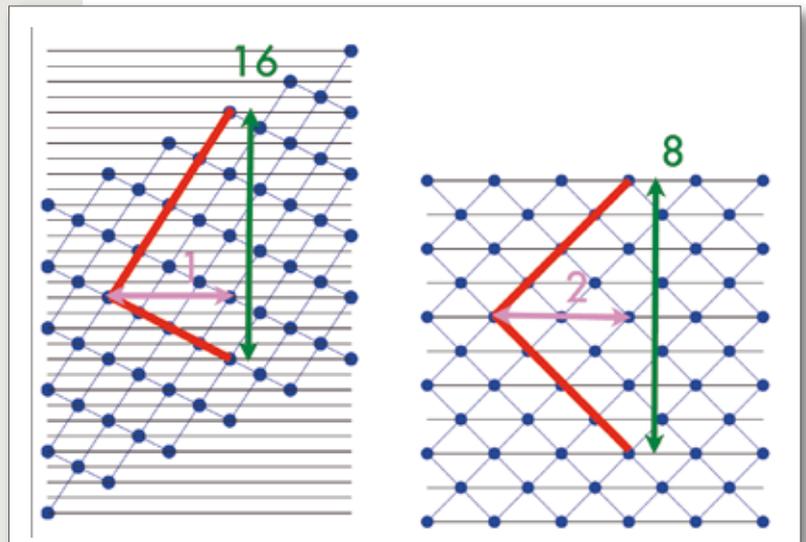


Fig. 4 A digital version of Lorentz time-dilation and space-contraction: illustration of the mechanism for the digital Lorentz time-dilation and space-contraction (from ref. [14]). In the informational framework time must be defined in terms of a global computer clock for synchronizing a parallel distributed computation [15]. Giving a rule for establishing which subroutines are called at the same time according to the global clock corresponds to build up a *foliation* on the circuit, each leaf representing space at a different time. Uniform foliations corresponds to “boosts”, namely inertial frames. The digital analog of the Lorentz space-contraction and time-dilation thus emerge in terms of an increased density of leaves and a decreased density of events per leaf in the boosted frame.

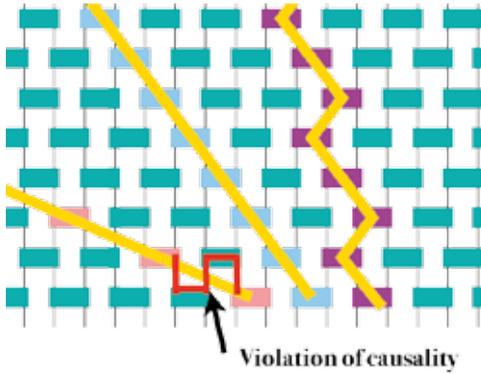


Fig. 5 Information flow in a quantum automaton (see text).

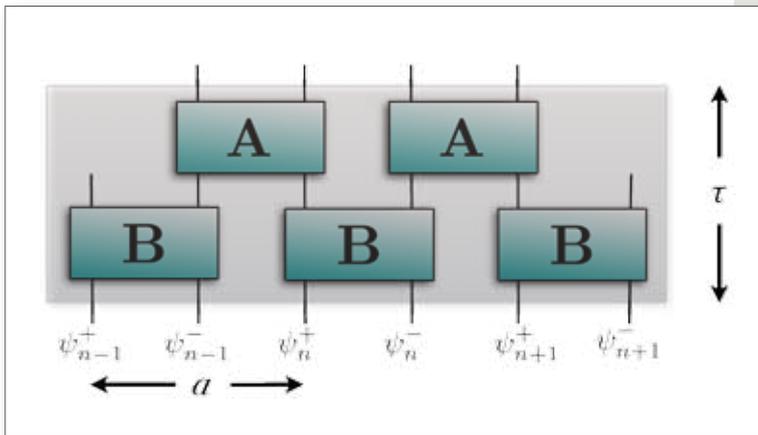


Fig. 6 The Dirac automaton.

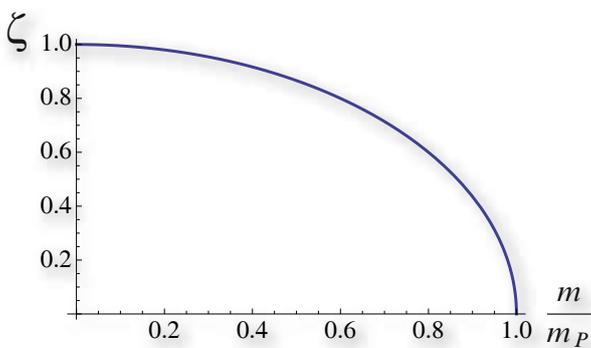


Fig. 7 Refraction index of vacuum that is a function of the mass (from ref. [16]).

respectively. In equations:

$$\hat{\partial}_t \begin{bmatrix} \psi^+ \\ \psi^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c\hat{\partial}_x & 0 \\ 0 & c\hat{\partial}_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi^+ \\ \psi^- \end{bmatrix},$$

where the hat on the partial derivative denotes that they are discrete finite differences. If we take the maximal information speed c as a universal constant, then c must be the speed of light. Now, the only way of slowing-down the information flow is to have it changing direction repeatedly. The homogeneity postulate requires the zig-zag to be periodic (corresponding to a constant average speed), and this is described mathematically by a coupling between ψ^+ and ψ^- with an imaginary constant. Upon denoting by ω the angular frequency of such periodic change of direction, we have

$$\hat{\partial}_t \begin{bmatrix} \psi^+ \\ \psi^- \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -c\hat{\partial}_x & -i\omega \\ -i\omega & c\hat{\partial}_x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi^+ \\ \psi^- \end{bmatrix},$$

which is just the Dirac equation without spin (the derivation of the spin is meaningful only for larger space dimension).

The slowing-down of information propagation due to the zig-zag can be regarded as the informational meaning of inertial mass, quantified by the angular frequency ω . The analogy with the Dirac equation leads us to write the coupling constant in terms of the Compton wavelength $\lambda = c\omega^{-1} = \hbar/(mc)$ (corresponding to the identity $m = \hbar c^{-2}\omega$ between the Planck quantum and the rest energy): this can be regarded as a reinterpretation of the Planck constant in terms of the conversion factor between the informational notion of inertial mass in s^{-1} and its customary notion in kg.

6 The Dirac automaton

The Dirac automaton [16] is described by the periodic quantum circuit in fig. 6 where gate B is simply a swap, whereas gate A is an $SU(2)$ unitary transformation corresponding to a rotation of 2θ . The corresponding field evolution is given by

$$\begin{bmatrix} \psi_n^+ \\ \psi_n^- \end{bmatrix} (t + \tau) = \mathbf{U} \begin{bmatrix} \psi_n^+ \\ \psi_n^- \end{bmatrix} (t)$$

with

$$\mathbf{U} = \begin{pmatrix} \sin \theta \hat{\partial}_- & -i \cos \theta \\ -i \cos \theta & \sin \theta \hat{\partial}_+ \end{pmatrix},$$

where τ is the time duration of each step and the partial derivatives symbols denote the discrete shifts on the left

(right) corresponding to the + (−) sign, respectively. The form of coefficients $\sin\theta$ and $\cos\theta$ is due to the unitarity of the evolution. The comparison with the finite-difference Dirac equation identifies the coefficients as follows:

$$\cos\theta = \frac{a}{\lambda} = \frac{m}{m_P}, \quad \sin\theta = \zeta = \sqrt{1 - \left(\frac{m}{m_P}\right)^2}, \quad m_P = \frac{\hbar}{ac},$$

where m_P is the Planck mass, and ζ rescales the speed of light as an inverse refraction index. Thus we see how unitarity implies a renormalization of the speed of light in the Dirac equation, corresponding to a refraction index of vacuum that is a function of the mass m , and which is monotonically decreasing and vanishes at the Planck mass $m = m_P$ (see [fig. 7](#)). This phenomenon belongs to the class of *violation of dispersion relations* that are expected in a discrete space-time. It is a very general phenomenon, due to the combined effects of unitarity and discreteness, which occurs in any space dimension and for any quantum cellular automata. The automaton theory provides a description of the Dirac field at all scales, ranging from the Planck one up to the customary field-limit (achieved asymptotically for large number of steps and delocalized smooth states). The theory depends on a single parameter, corresponding to the mass in Planck units, and predicts that the Planck mass is the largest possible mass for a Dirac particle. The Planck constant itself can be redefined as a derived quantity, obtained as the product of the maximum mass m_P , the minimum distance a , and the speed of light c .

7 Emergent Hamiltonian

Differently from Quantum Field Theory, in the quantum cellular automaton there is no Hamiltonian: all interactions are local, they are made with quantum gates that produce transformations far from the identity, otherwise we would need an unbounded maximum speed of the information flow in order to get finite average speed, recovering Einstein causality only in a continuum limit. However, surprisingly, we can reversely obtain the classical field Hamiltonian from the unitary transformation, via the following identity:

$$H = -\frac{i\hbar}{2\tau} \sum_n \begin{bmatrix} \psi_n^+ \\ \psi_n^- \end{bmatrix}^\dagger (\mathbf{U} - \mathbf{U}^\dagger) \begin{bmatrix} \psi_n^+ \\ \psi_n^- \end{bmatrix}.$$

As a (normal ordered) operator such Hamiltonian provides the correct evolution of the field according to the identity

$$i\hbar\hat{\partial}_\tau\psi_n^\pm = [H, \psi_n^\pm].$$

BOX 3

The Feynman problem



Feynman said: "I'm not sure whether Fermi particles could be described by such a system [quantum computer]. So I leave that open. Well, that's an example of what I meant by a general quantum mechanical simulator. I'm not sure that it's sufficient, because I'm not sure that it takes care of Fermi particles" [18].

The problem precisely: Write Fermi fields using Pauli matrices in such a way that any observable in the field operator (*i.e.* bilinear products of field operators) contains only Pauli operators in the same locations of the field operators.

8 Replacing fields with qubits only: the digital neutrino?

In a quantum-digital world there are only qubits that are unitarily interacting: the discretely labelled quantum field of the automaton must be eliminated from the framework, and rewritten in terms of qubits only. The field is a nonlocal operator (anticommutation is nonlocal), and is realized as a product of Pauli matrices everywhere on the lattice. This poses the nontrivial problem if it is possible to rewrite the local field unitary interactions in a way that involves local qubits only. Such a problem has been posed by Feynman himself (see [box 3](#)).

The Fermi field can be easily eliminated in our one-dimensional Dirac automaton using the Jordan Wigner construction [19], resulting in simple two-qubit gates as in ref. [16]. It is easy to see that the vacuum state that is annihilated by the field operator is left locally invariant by the automaton, and is simply made with all qubits in the down state \downarrow . On the other hand, the field creates a qubit in the state \uparrow in its same location. The problem is much more difficult for larger space dimensions, where it can be solved by adding a Majorana auxiliary field written in terms of additional qubits [20, 21]. The ancillary qubits are prepared in a special state that remains invariant under the evolution, and just takes care of the anti-symmetrization of fermions. It is not clear yet if such construction for the field is essentially unique,

in which case it may provide an informational motivation for a neutrino to be associated to a lepton.

9 Digital particles and antiparticles

Using the mentioned Jordan Wigner in one dimension we can construct single-particle states by superimposing single \uparrow qubits in a vacuum made of all qubits in the state \downarrow . Particle (antiparticle) states correspond to have equal (opposite) amplitudes for left and right qubits at the same location n on the lattice, whereas the momentum is given by putting a constant phase shift between neighboring locations, as, for example, in the following state:

$$|\Psi\rangle = \sum_n g_n e^{in\phi} (|\psi_n^+\rangle \pm |\psi_n^-\rangle),$$

where $|\psi_n^\pm\rangle$ denotes the \uparrow qubit state in left/right field (see fig. 6). The *smooth states* of the field-limit correspond to choosing the coefficients g_n as slowly varying *versus* n , *i.e.* highly delocalized. The evolution of a smooth state with Gaussian envelope g_n is reported in fig. 8 and fig. 9 for a single particle and in fig. 10 for two particles (the square modulus of the coefficients in the qubit basis is plotted).

10 The quantum-digital fabric of space-time

For space dimension greater than 1 a classical digital space-time would suffer the Weyl tiling problem [22], which states the impossibility of emergence of an isotropic metrical space from a discrete geometry. Weyl said that in a two-dimensional square tiling one would count the same number of squares along the directions of the side and along the diagonal, and this problem is clearly not cured by the continuum limit. Recently it has been proved that the maximal speed of information flow attainable in a periodic causal network is necessarily non-isotropic, since the set of points attainable in a given maximum number of steps is a polytope that does not approach a circle [23]. Thus the maximal speed of information flow cannot be isotropic in a classical causal network. This problem could be cured by considering a random causal network, as in the case of the Sorkin framework for quantum gravity [24]: however, in the present logic, such randomness would violate the topological homogeneity principle, and would correspond to a "random physical law". It is instead the same quantum nature of the space-time fabric emerging from the quantum cellular automaton that cures the anisotropy, with superposition of paths restoring the isotropy of the maximal speed of propagation of information [25]. This is proved by the the continuum limit of the Bialynicki-Birula automaton [26] approaching the Dirac equation in the continuum limit of $a \rightarrow 0$ (via Trotter's formula), since the anisotropy would

otherwise persist in the continuum limit. The same isotropy is restored in the field-limit of smooth states. This shows that the quantum nature of the causal network plays a crucial role in having Minkowski space-time as emergent from the discrete geometry of the quantum cellular automaton.

11 Can we experimentally see the digital nature of space-time?

The digital framework at the Planck scale is in principle detectable through violations or "deformations" of symmetries – *e.g.* with the Planck length/energy invariant along with the speed of light, as in the doubly special relativity of Amelino-Camelia [27] or in the deformed Lorentz transformations of Magueijo and Smolin [28]. Another possibility is detecting violations of dispersion relations, as for the mass-dependent refraction index of the vacuum for the Dirac automaton shown in fig. 7. In this case the leading correction of the constant c is of the order of $(m/m_p)^2$ which for a proton is about 1.5×10^{-37} – a very small number indeed. In the last years amazingly a number of experimental methods have been proven to be effective in testing the Planck scale. For example ultra-energetic gamma ray bursts from distant cosmological objects can signal Lorentz invariance violation by measuring the helicity dependence of the propagation velocity of photons (vacuum birefringence) [29]. It has also been suggested that Planck-scale deformation of Lorentz symmetry can be the solution to the ultrahigh energy cosmic ray (above the Greisen-Zatsepin-Kuzmin threshold) and the TeV-photon conundrums [30]. Ultra-precise cold-atom-recoil experiments can be used to constrain the form of the energy-momentum dispersion relation in the low speed limit of the dispersion relation, complementary to analogous investigations of the dispersion relation using cosmic rays [31]. In this case the exceptional sensitivity of cold-atom-recoil experiments remarkably allows us to set a limit within a single order of magnitude of the desired Planck-scale level for the leading correction in the non-relativistic limit. This provides the first example of Planck-scale sensitivity in the study of the dispersion relation in controlled laboratory experiments. The next-to-leading term is only a few orders of magnitude away from the Planck scale, but still amounts to the best limit on a class of Lorentz-symmetry test theories that has been extensively used to investigate the hypothesis of "deformation" (rather than breakdown) of space-time symmetries. Remarkably, Craig J. Hogan at Fermilab has built a holometer (Michelson interferometer) which should be able to test a random Planckian walk in form of a special type of noise [32]. Finally, a strong evidence of Lorentz-covariance violation would be represented by an experimental violation of CPT.

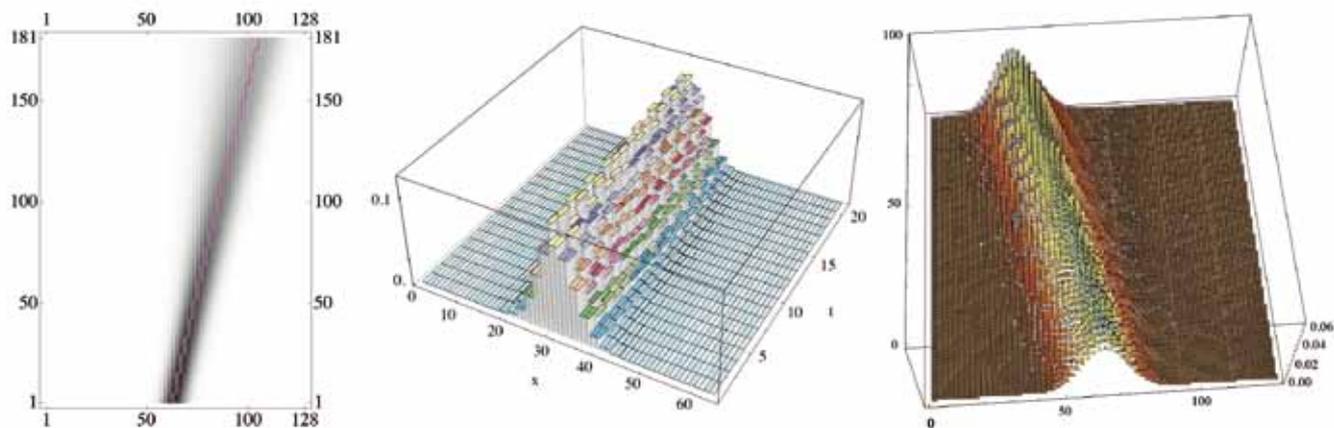


Fig. 8 The evolution of a single-particle Gaussian packet (probability distribution of qubit \uparrow) with $\Delta = 2, \theta = \pi/4$, for 180 time steps, using 128 qubits (half of them for left and half of them for right particles). The red line is the typical path, corresponding to the classical trajectory. The parameter $\cos \theta$ with $\theta = \pi/8$ here corresponds to $m \approx 0.92 m_p$. On the center the 3D details are given (both figures from ref. [20]). On the right another particle state in a 3D plot.

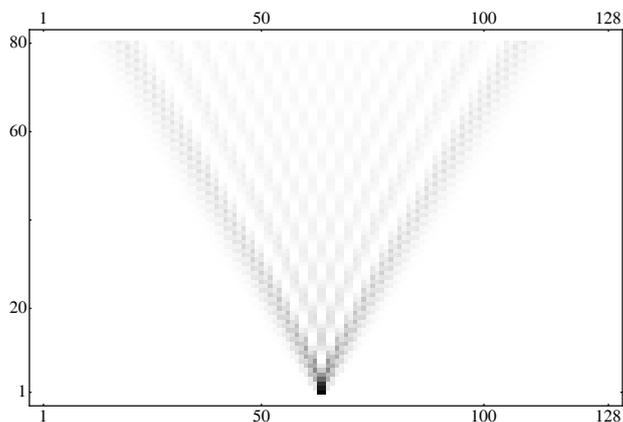


Fig. 9 The evolution of a localized state for $\theta = \pi/10$. Such kind of states cannot be described by the customary field theory, and have no simple field limit. Notice how fast the localized states broadens, compared to smooth ones.

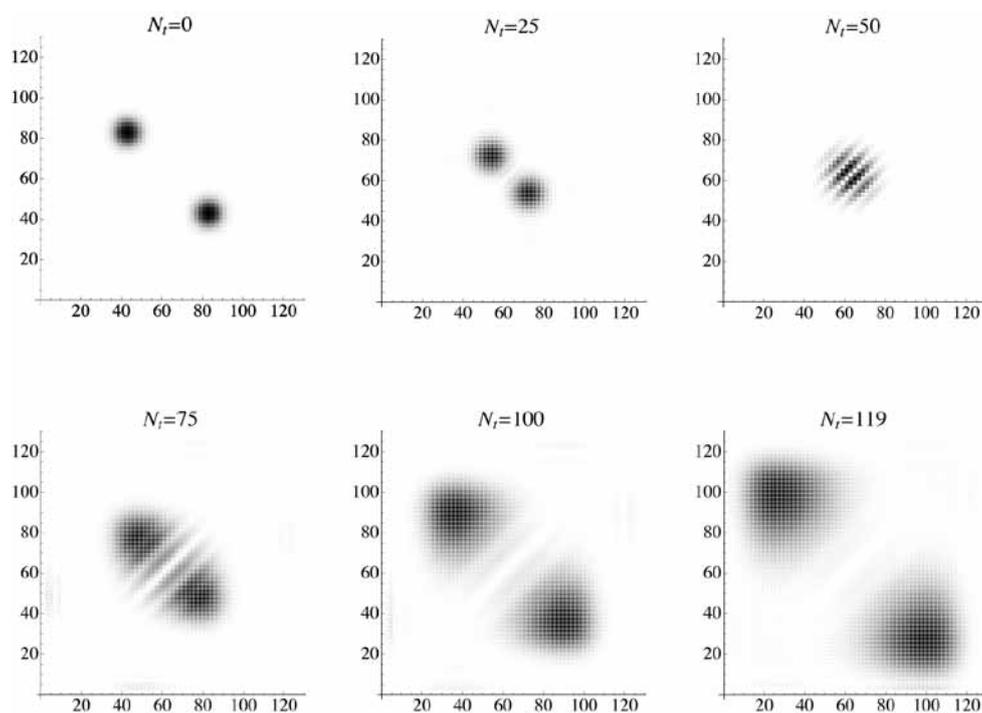


Fig. 10 Evolution at different time-steps N_t of a two-particle state made upon antisymmetrizing the two Gaussian packets in collision with $x_0 = \pm 10, \Delta = 2, k = \pm \pi/4$, 128 qubits. Here $m \approx 0.92 m_p$ as in the previous figure. The plot represents the square modulus of the antisymmetric matrix of state coefficients, with the vertical and the horizontal axes denoting the matrix indexes, namely the one-dimensional coordinates of the two particles. The symmetry along the diagonal is the result of indistinguishability. Notice the empty diagonal, corresponding to the Pauli exclusion principle (from ref. [20]).

12 What about Gravity?

The big question is now where gravity comes from. At this early stage of this quantum-digitalization program we can only hypothesize possible lines of research. A very appealing possibility is to believe in a strong version of the equivalence principle, *i.e.* that inertial and gravitational masses are actually the same “informational” entity. This means that gravity must be a quantum effect. This idea, crazy as it seems, is actually not new, and has been considered by Andrei Sakharov with his induced gravity almost fifty years ago [33]. The work of Seth Lloyd [34] is also in the same spirit. Literally the idea that gravity is a quantum effect means that it should be exhibited at the level of the free Dirac field, whence such an effect should be truly a manifestation of the digital nature of the field, a low-order digital correction to the analog free-field theory. This way of looking at gravity is deeply connected to the idea of Ted Jacobson and Erik Verlinde, where gravity is an entropic force [35]. In this approach the only unproved ingredient is a generalized version of the holographic principle, which is of perfectly digital nature. The goal is therefore to derive the principle from the quantum automaton evolution. There are, however, problems yet to be solved, for example the existence of infinitely many automata having the same field-limit, suggesting the existence of some new principle that selects the correct automaton. As we have seen, the information flow halts at the Planck mass, and this seems mysteriously related to the holographic principle.

The “informational era” of physics is only at the beginning: we have a long way in front of us.

References

- [1] W. K. Wootters and W. H. Zurek, *Nature*, 299 (1982) 802; D. Diecks, *Phys. Lett. A*, 92 (1982) 271.
- [2] G. M. D'Ariano and H. P. Yuen, *Rev. Lett.*, 76 (1996) 2832.
- [3] Gilles Brassard, *Nature Physics*, 1 (2005) 2.
- [4] C. Fuchs, *J. Mod. Opt.*, 50 (2003) 987.
- [5] R. Feynman, *The Character of Physical Law* (Modern Library) 1994.
- [6] J. A. Wheeler, *New York Times*, December 12, 2000.
- [7] G. Birkhoff and J. von Neumann, *Ann. Math.*, 37 (1936) 743.
- [8] G. Chiribella, G. M. D'Ariano, and P. Perinotti, *Phys. Rev. A*, 84 (2011) 012311.
- [9] C. Brukner, *Physics*, 4 (2011) 55.
- [10] G. M. D'Ariano, in *Philosophy of Quantum Information and Entanglement*, Edited by A. Bokulich and G. Jaeger (Cambridge University Press, Cambridge, UK) 2010.
- [11] S. Abramsky and B. Coecke, *Proceedings of the 19th IEEE conference on Logic in Computer Science* (2004) pp. 415-425.
- [12] D. Deutsch, *Proc. R. Soc. London A*, 400 (1985) 97.
- [13] Quoted from: M. Misky, in *Feynman and Computation*, edited by J. G. Hey (Westview, Boulder, Oxford) 2002.
- [14] G. M. D'Ariano, in *AIP Conf. Proc.*, Vol.1232 *Quantum Theory: Reconsideration of Foundations*, 5, edited by A. Y. Khrennikov (AIP, Melville, New York, 2010), p. 3 (also arXiv:1001.1088).
- [15] L. Lamport, *Communications of the ACM*, 21 (1978) 558.
- [16] G. M. D'Ariano, *Phys. Lett. A*, 376 (2012) 697 [arXiv:1012.0756].
- [17] G. M. D'Ariano and A. Tosini, unpublished.
- [18] R. P. Feynman, *Int. J. Th. Phys.*, 21 (1982) 467.
- [19] P. Jordan and E. Wigner, *Z. Phys.*, 47 (1928) 631.
- [20] G. M. D'Ariano, arXiv: 1110.6725 (2011).
- [21] G. M. D'Ariano and A. Tosini, in preparation.
- [22] H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Sciences* (Princeton University Press, Princeton) 1949.
- [23] T. Fritz, *Velocity Polytopes of Periodic Graphs*, arXiv:1109.1963 (2011).
- [24] L. Bombelli, J. Lee, D. Meyer, and R. D. Sorkin, *Phys. Rev. Lett.*, 59 (1987) 521.
- [25] G. M. D'Ariano, *Adv. Sci. Lett.*, 5 (2012) in press, reprinted from: A Quantum-digital Universe, FQXi Essay Contest Is Reality Digital or Analog? (2011) [<http://fqxi.org/community/essay/winners/2011.1>].
- [26] I. Białynicki-Birula, *Phys. Rev. D*, 49 (1994) 6920.
- [27] G. Amelino-Camelia, *Nature*, 418 (2002) 34.
- [28] J. Magueijo, L. Smolin, *Phys. Rev. Lett.*, 88 (2002) 190403.
- [29] P. Laurent, D. Götz, P. Binétruy, S. Covino, and A. Fernandez-Soto, *Phys. Rev. D*, 83 (2011) 121301.
- [30] G. Amelino-Camelia, and T. Piran, *Phys. Rev. D*, 64 (2001) 036005.
- [31] F. Mercati, D. Mazon, G. Amelino-Camelia, J. M. Carmona, J. L. Cortes, J. Induráin, C. Lämmerzahl, and G. M. Tino, arXiv gr-qc/1004.0847 (2010). G. Amelino-Camelia, C. Lämmerzahl, F. Mercati, and G. M. Tino, arXiv gr-qc/0911.1020 (2009).
- [32] C. Hogan, *Phys. Rev. D*, 85 (2012) 064007; M. Moyer, *Sci. Am.*, February (2012) 21.
- [33] A. D. Sakharov, *Sov. Phys. Dokl.*, 12, 1040 (1968) [Dokl. Akad. Nauk Ser. Fiz. 177 70 (1968)]. Reprinted in *Gen. Rel. Grav.* 32 (2000) 365.
- [34] S. Lloyd, quant-ph:0501135 (2005).
- [35] T. Jacobson, *Phys. Rev. Lett.*, 75, (1995) 1260; E. Verlinde, arXiv: 1001.0785 (2010).

Giacomo Mauro D'Ariano

Is Full Professor at the University of Pavia, where he teaches Physical Theory of Information and Foundations of Quantum Mechanics. Founder and leader of the Quantum Information Theory Group (QUIT), he is also member of the Center for Photonic Communication and Computing of Northwestern University in Evanston, Illinois. With his group he conceived and developed the quantum tomography method for states and transformations, introduced the method of quantum combs for quantum protocols, designed numerous optimal quantum protocols and measurements, and recently derived the mathematical structure of Quantum Theory from information-theoretic principles.

APPLICAZIONE DI NANOFILI DI OSSIDI METALLICI NEL CAMPO PREVENZIONE/SICUREZZA

ELISABETTA COMINI, GUIDO FAGLIA, MATTEO FERRONI, ANDREA PONZONI,
DARIO ZAPPA, GIORGIO SBERVEGLIERI
SENSOR, Università di Brescia e CNR-IDASC, Brescia, Italia

L'evoluzione continua negli ultimi anni delle nanotecnologie ha portato allo sviluppo di strutture quasi monodimensionali conosciuti come nanofili, nanotubi, nanonastri, strutture gerarchiche ed altre ancora. Gli ossidi metallici sono interessanti sia dal punto di vista della scienza di base che di quella applicata. Questi ossidi metallici quasi monodimensionali hanno una struttura cristallina priva di difetti estesi e dislocazioni ed una composizione chimica ben definita; possono inoltre presentare proprietà diverse rispetto alla loro controparte policristallina. Gli effetti superficiali influenzano le proprietà dei nanofili e, grazie al loro elevato rapporto superficie-volume, enfatizzano le proprietà catalitiche e di assorbimento superficiale. Questo li rende ideali per la produzione di sensori chimici.

1 Introduzione

Al giorno d'oggi la crescente preoccupazione per gli effetti dell'inquinamento sulla salute e sulla sicurezza enfatizza la necessità di monitorare in tempo reale le condizioni dell'ambiente in cui viviamo, per questo c'è un notevole sforzo nella ricerca per lo sviluppo di sensori dedicati a molteplici applicazioni [1–6].

Sensori chimici a base di ossidi metallici sono oggetto di studio da più di cinque decenni, la loro conducibilità elettrica varia a seconda della composizione dell'atmosfera circostante. Sono stati studiati ossidi metallici quali SnO_2 , TiO_2 , WO_3 , ZnO , Fe_2O_3 e In_2O_3 (prima in forma di film spessi e successivamente di film sottili), così come i benefici

dell'aggiunta di metalli nobili per migliorare la selettività e la stabilità. Nel 1991 Yamazoe ha mostrato che la riduzione della dimensione dei cristalliti negli ossidi metallici produce un aumento significativo delle prestazioni come sensori chimici [7]. Quando le dimensioni delle particelle sono nanometriche quasi tutti i portatori sono intrappolati in superficie, la conduzione è governata dai pochi portatori attivati termicamente. Quando la superficie dell'ossido metallico interagisce con le molecole dell'atmosfera circostante questo può portare ad una variazione della concentrazione dei portatori liberi e conseguentemente ad una variazione nella conducibilità del materiale che può essere rilevata. La sfida è fabbricare

dei materiali con dimensioni cristalline ridotte che mantengano la loro stabilità durante il funzionamento ad alta temperatura per un lungo periodo. Nei sensori tradizionali basati su materiali policristallini, l'alta temperatura necessaria per indurre le reazioni superficiali in modo reversibile e veloce induce una crescita dei grani per effetto di coalescenza e impedisce la realizzazione di materiali molto stabili.

Le strutture quasi monodimensionali hanno svariati vantaggi rispetto alla controparte in forma di film sottili o film spessi, ad esempio un rapporto superficie volume molto elevato, dimensioni confrontabili con l'estensione della regione di carica superficiale, una stabilità elevata grazie all'elevata cristallinità [8],

preparazione semplice e poco costosa, la loro possibile funzionalizzazione con recettori superficiali specifici, la possibilità di usare catalizzatori ed infine la possibile configurazione in transistori ad effetto di campo che permette di usare il "potenziale di gate" per controllare sensibilità e selettività [9].

A partire dal 2002 il campo di ricerca sui nanofili di semiconduttori ha avuto un significativo incremento ed è diventato una delle aree di ricerca più attive all'interno della comunità della nanoscienza. Per averne un'idea basta guardare al grande numero sempre crescente di pubblicazioni nel corso degli ultimi anni. Sono stati fatti notevoli passi in avanti molto velocemente in laboratori di diverse località nel mondo guidati sia dalla curiosità che da ipotesi e supposizioni.

Sono state continuamente proposte nuove tecniche e nuove applicazioni per questi materiali, ad esempio elettronica a nanofili, fotonica, nanofili come emettitori di elettroni, per la produzione di energia, per elettrofisiologia e per interfacciare celle.

2 Tecniche di preparazione di nanofili

Una possibile classificazione dei materiali nanocristallini può essere fatta in base alle loro dimensioni, in particolare secondo quelle dimensioni per così dire "nanostrutturate", cioè inferiori ai 100 nanometri. In quest'articolo sarà utilizzata la seguente classificazione: strutture zero-dimensionali (0D), ad esempio "clusters" e "dots"; strutture monodimensionali (1D), ad esempio nanofili e nanotubi; strutture bidimensionali (2D), ad esempio film sottili.

Per la produzione di queste varie tipologie di nanostrutture esistono due approcci totalmente differenti, identificati rispettivamente con i termini di "top-down" e "bottom-up".

Le tecnologie top-down sono basate su metodi di micro-

fabbricazione standard, e consistono fondamentalmente nell'applicare tecniche di deposizione e di "etching" su di un substrato planare, in modo da ridurre le dimensioni dell'oggetto fino a una scala nanometrica. I vantaggi principali di quest'approccio consistono nel poter adottare le tecnologie sviluppate dall'industria dei semiconduttori e la possibilità di utilizzare substrati planari. Sfortunatamente quest'approccio è estremamente costoso dal punto di vista economico, con tempi di lavorazione molto lunghi. Un ulteriore vantaggio di queste tecnologie è la possibilità di produrre nanofili spazialmente ordinati [10], anche se al momento non sono in grado di soddisfare i requisiti di basso costo ed alto numero di dispositivi necessari per una produzione su larga scala. Inoltre, le nanostrutture monodimensionali realizzate con queste tecniche in genere non sono monocristalline.

Il secondo approccio, identificato con il termine di bottom-up, consiste nella composizione di blocchi molecolari o sintesi chimica attraverso varie tecniche, quali ad esempio trasporto via fase vapore, deposizione elettrochimica, o crescita via "template". Con tale approccio è possibile produrre materiali nanocristallini di purezza elevata e di dimensioni ridotte. Inoltre il set-up sperimentale ha un costo generalmente contenuto, ed è possibile variare intenzionalmente il drogaggio delle strutture per realizzare giunzioni. Il limite principale di queste tecniche consiste nella difficoltà di integrare le nanostrutture su un substrato planare, necessario per sfruttare le loro proprietà chimico-fisiche in dispositivi funzionali. Quest'approccio tuttavia è molto economico, anche se è molto difficile ottenere strutture ordinate.

Varie tipologie di nanostrutture monodimensionali sono state fatte crescere utilizzando questi approcci bottom-up. Ognuna di queste nanostrutture ha proprietà,

composizione e morfologie uniche, e non sarebbe stato possibile ottenerle facilmente con metodi top-down. Non esiste una vera e propria classificazione delle strutture monodimensionali realizzate. In letteratura sono stati utilizzati molti nomi differenti: nanofili, nanotubi, fibre, anelli, fiori, ecc. Alcune di queste morfologie sono riportate in [fig. 1](#).

Nel corso degli anni sono state proposte varie tecniche di crescita, divisibili in due grandi famiglie: tecniche di crescita catalizzate e non catalizzate. Una classe di tecniche trasversale ad entrambe le famiglie, e molto usata nel caso di ossidi metallici, è la crescita mediante fase vapore.

Questa tecnica è stata utilizzata a partire dagli anni sessanta, per la preparazione di "whiskers" di dimensione micrometrica. Per prima cosa il materiale d'interesse è sublimato, per ottenere una fase vapore. Il materiale evaporato è in seguito trasportato con l'ausilio di un gas inerte di trasporto verso il sito di crescita a temperatura più fredda, dove avviene la nucleazione. Per raggiungere le alte temperature necessarie all'evaporazione del materiale sono impiegate fornaci tubolari appositamente studiate ([fig. 2](#)). Negli ultimi anni questo metodo è stato utilizzato per crescere molti materiali diversi sotto forma di nanofili ed altre strutture. La nucleazione può avvenire direttamente sulle particelle del substrato, secondo il meccanismo vapore-solido (VS), oppure utilizzando un catalizzatore, secondo il meccanismo vapore-liquido-solido (VLS).

La crescita VLS, scoperta da Wagner ed Ellis nel 1964 [11], prende il nome dalle tre fasi coinvolte nel processo di crescita: la fase vapore del precursore, la fase liquida del catalizzatore, e la fase solida del cristallo prodotto. Il gas di materiale sublimato è trasportato con un gas inerte verso il substrato di destinazione, su cui sono presenti delle isole di catalizzatore che, a causa delle alte temperature, si trova in fase liquida

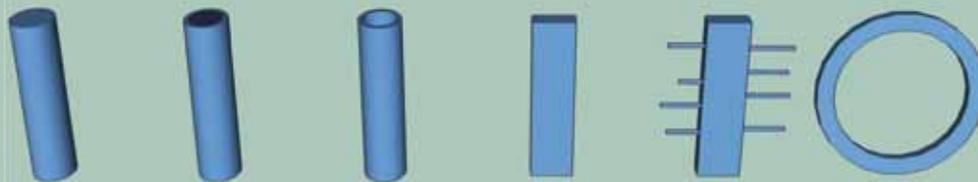


Fig. 1 Possibili morfologie nanostrutturate interessanti per applicazioni funzionali.

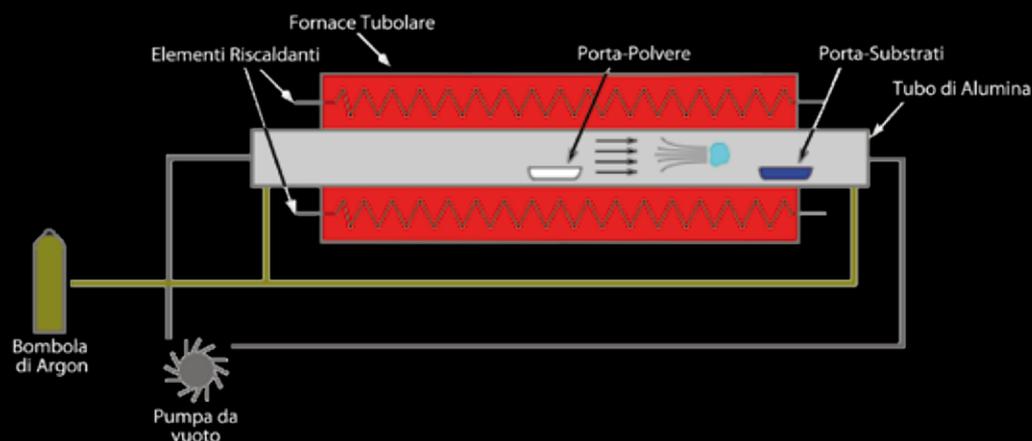


Fig. 2 Schema di un possibile apparato sperimentale per la crescita di nanofili.

e quindi funge da sito preferenziale di condensazione. Il catalizzatore può essere depositato sul substrato utilizzando varie tecniche, quali ad esempio "sputtering" o deposizione di nanoparticelle colloidali. Le dimensioni delle isole di catalizzatore possono influenzare le dimensioni delle nanostrutture ottenute. Alla fine del processo di deposizione il catalizzatore può trovarsi sia alla sommità delle nanostrutture, sia alla base. Nel primo caso si parla di crescita flottante, nel secondo di crescita radicale.

Il meccanismo di crescita VS avviene quando il nanofilo è generato dalla condensazione diretta della fase

vapore sul substrato, senza l'uso di un catalizzatore. Storicamente questo tipo di crescita era attribuito alla presenza di difetti reticolari, ma questa spiegazione è venuta meno quando si sono osservati nanofili senza difetti cristallografici. Un ulteriore effetto caratteristico di questa tipologia di crescita è il tasso di crescita più elevato di quello dovuto alla sola condensazione della fase vapore. Come già detto, la crescita avviene in assenza di catalizzatore, grazie alla condensazione del materiale in fase vapore su di un substrato posto a temperatura più bassa. Inizialmente la condensazione forma dei cristalli che fungono da seme per la successiva

crescita orientata del nanofilo. Questo effetto di auto-catalisi è molto complesso e difficile da modellizzare, a causa dell'alto numero di parametri termodinamici coinvolti.

Con l'ausilio di una fornace tubolare è possibile utilizzare entrambe le tecniche per crescere nanofili di differenti ossidi metallici. Nel caso di crescita VLS, i catalizzatori più frequentemente usati sono i metalli nobili, in particolare platino, oro, palladio, ecc., depositati via magnetron sputtering in condizioni di alto vuoto, utilizzando un plasma di argon. I substrati che possono essere utilizzati sono molteplici, secondo l'obiettivo prefissato. I più utilizzati

sono ossido di alluminio (allumina) per la realizzazione di dispositivi conduttometrici funzionanti come sensori chimici e silicio passivato per le analisi morfologiche. Recentemente si è iniziato ad usare materiali plastici, quali ad esempio Kapton, per ridurre i costi ed il consumo energetico del dispositivo finale realizzato. Una polvere del materiale che si vuole depositare è collocata su un porta-polvere di alumina nella zona centrale del forno, posta ad alta temperatura (tipicamente maggiore di 1300 °C), necessaria per l'evaporazione. I substrati (catalizzati o non catalizzati a seconda del tipo di meccanismo di crescita voluto) sono collocati in una zona più fredda della fornace, tipicamente fra 1100 e 400 °C a seconda del materiale che si vuole depositare, del catalizzatore utilizzato e della morfologia che si vuole ottenere. Un flusso di argon è utilizzato come gas di trasporto della fase vapore. Si utilizza argon (od altri gas inerti) in quanto si vuole minimizzare l'interazione fra il gas di trasporto e la fase vapore del materiale. Durante la fase di riscaldamento della fornace si utilizza un flusso di argon contrario al verso di deposizione, per evitare che si condensi sul substrato del materiale che potrebbe alterare o impedire la crescita. Una volta che il forno raggiunge la temperatura di regime, il flusso viene ripristinato in direzione ottimale per la condensazione della fase vapore sul substrato. Il processo avviene in una condizione di basso vuoto, principalmente per abbassare la temperatura di evaporazione del materiale sorgente e per rimuovere parzialmente le componenti gassose presenti nell'atmosfera.

Con questa tecnica è possibile crescere diversi tipi di materiali e morfologie. Sono stati cresciuti con successo nanofili, nanorods, nanopettini e nanolayer di ZnO, In₂O₃, CuO, SnO₂, ecc... I limiti principali di questa tecnica consistono nella impossibilità

di realizzare grandi quantità omogenee di strutture e nella difficoltà nel crescere strutture orientate. Inoltre, la temperatura massima raggiungibile dalla fornace limita la scelta dei materiali utilizzabili come sorgente.

3 Tecniche di caratterizzazione di nanofili

La conoscenza della struttura microscopica e della composizione dei nanofili è essenziale per comprendere le loro proprietà e per concepire nuovi dispositivi. Il fine ultimo della caratterizzazione microstrutturale consiste nel determinare le proprietà fisiche a partire dalla conoscenza della disposizione degli atomi nello spazio tanto all'interno della struttura quanto in superficie e in corrispondenza di interfacce e difetti.

Le tecniche di caratterizzazione devono garantire una sensibilità adeguata e una risoluzione spaziale molto elevata poiché le dimensioni minuscole dei nanofili costituiscono una delle loro caratteristiche principali. La microscopia elettronica, a scansione di sonda, e la "atom probe tomography" giocano quindi un ruolo molto importante nella caratterizzazione dei nanofili. La microscopia elettronica in trasmissione combina la risoluzione spaziale su scala atomica alla capacità di ottenere informazione da una quantità estremamente ridotta di materiale (corrispondenti a circa 10⁻²⁴ kg) grazie all'intensità dell'interazione elettrone-materia, 100–1000 volte maggiore di quella della radiazione X [12].

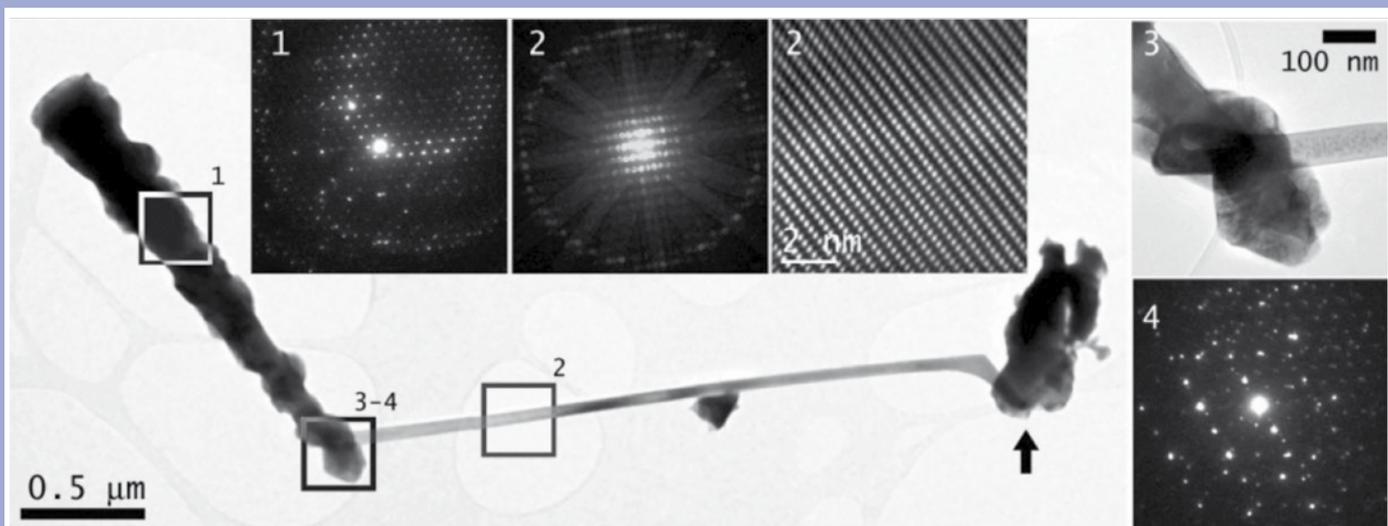
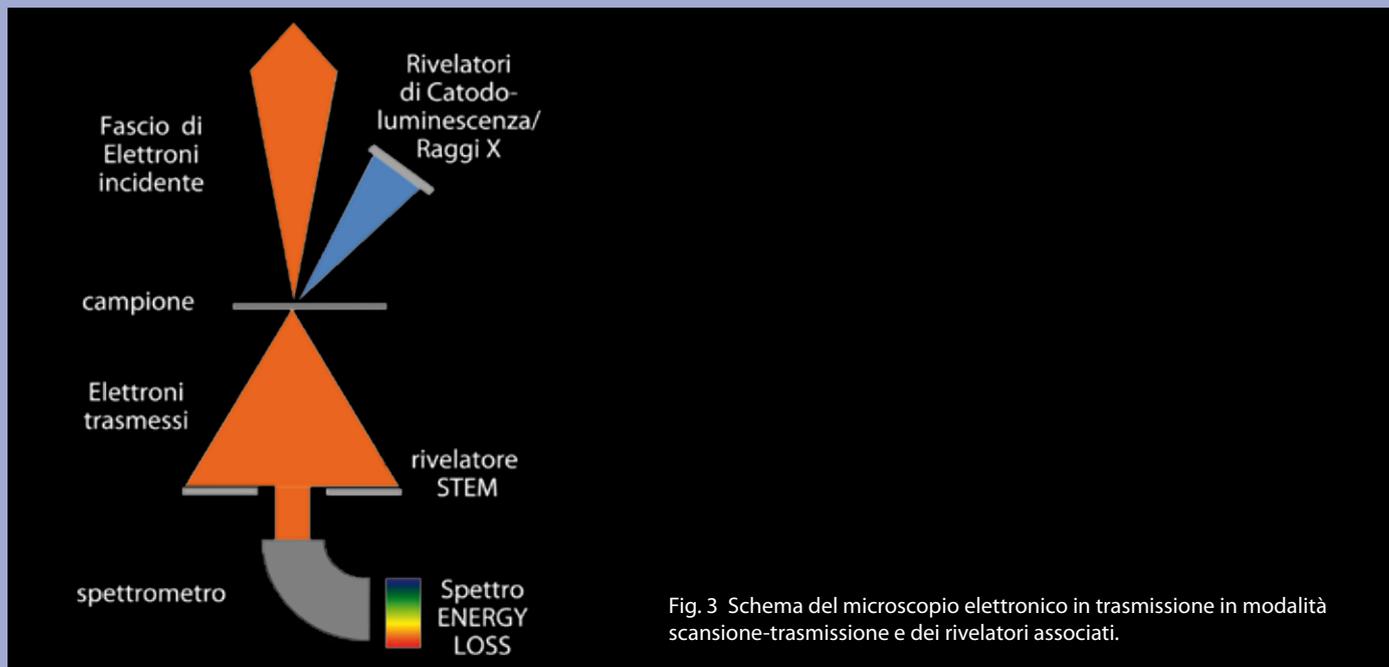
La configurazione scansione-trasmissione (STEM) è una delle modalità fondamentali d'utilizzo del microscopio elettronico in trasmissione (TEM) per la caratterizzazione di nanofili, che sfrutta la capacità delle ottiche elettromagnetiche moderne di focalizzare il fascio elettronico in una sonda di diametro sub-nanometrico

per scandire il campione sottile. La [fig. 3](#) mostra lo schema operativo della STEM e i rivelatori che possono essere utilizzati contemporaneamente per avere informazioni complementari. I rivelatori per elettroni raccolgono l'intensità del fascio trasmesso entro un settore angolare specifico, mentre i rivelatori per raggi X, catodoluminescenza, e lo spettrometro per elettroni completano l'informazione composizionale e di valenza di ciascuna colonna atomica. Tramite la microscopia elettronica, è possibile determinare la composizione chimica, la struttura, i legami, gli stati di valenza per gli atomi che costituiscono il campione. La precisione raggiunta dalla microscopia TEM in termini di risoluzione spaziale e di energia negli spettrometri consente di determinare proprietà fisiche del campione su scala locale direttamente dalla misura delle posizioni degli atomi.

Nonostante la visualizzazione del campione in modalità trasmissione sia essenzialmente una tecnica di proiezione, nella quale l'intensità della funzione d'onda per gli elettroni che emerge dal campione e si propaga nel microscopio è registrata come immagine bidimensionale, l'olografia elettronica, la tomografia e le loro recenti implementazioni possono consentire una ricostruzione completa dell'onda elettronica uscente e della struttura tridimensionale del campione.

In un articolo recente, la tomografia è stata applicata assieme alla olografia elettronica a eterostrutture "core/shell" di GaAs and GaAs-AlGaAs [13]. La misurazione del potenziale medio interno delle nano strutture, importantissima per la modellizzazione delle proprietà elettriche del materiale, è stata ottenuta separando il contributo dello spessore attraversato. In questa maniera si è resa possibile la ricostruzione tridimensionale del nanofilo e la mappatura del suo potenziale medio interno.

I nanofili possono essere osservati al



microscopio TEM con una procedura di preparazione molto ridotta, che si limita nella maggior parte dei casi al trasferimento del nanofilo su un supporto leggero che sospenda i nanofili per l'analisi in trasmissione. Si evitano così molti degli artefatti che in generale possono diminuire la rappresentatività del campione TEM rispetto al materiale in forma massiva (difetti introdotti dall'assottigliamento,

rilascio della tensione, amorfizzazione della struttura, rimozione selettiva di elementi in campioni eterogenei).

Un esempio della caratterizzazione TEM di nanofili è mostrato nella [fig. 4](#), che riassume le caratteristiche di una eterostruttura longitudinale di In_2O_3 e SnO_2 ricostruite attraverso l'osservazione TEM e le tecniche di visualizzazione associate. La parte principale mostra per intero i nanofili

di ossido di indio e di ossido di stagno che costituiscono l'eterostruttura e sono disposti longitudinalmente, grazie alla tecnica di crescita sequenziale perfezionata dagli autori [14]. La freccia mostra la terminazione del nanofilo di SnO_2 ed evidenzia la particella di catalizzatore metallico usato per la crescita ordinata. I box quadrati nell'immagine principale rimandano ai riquadri numerati che mostrano le

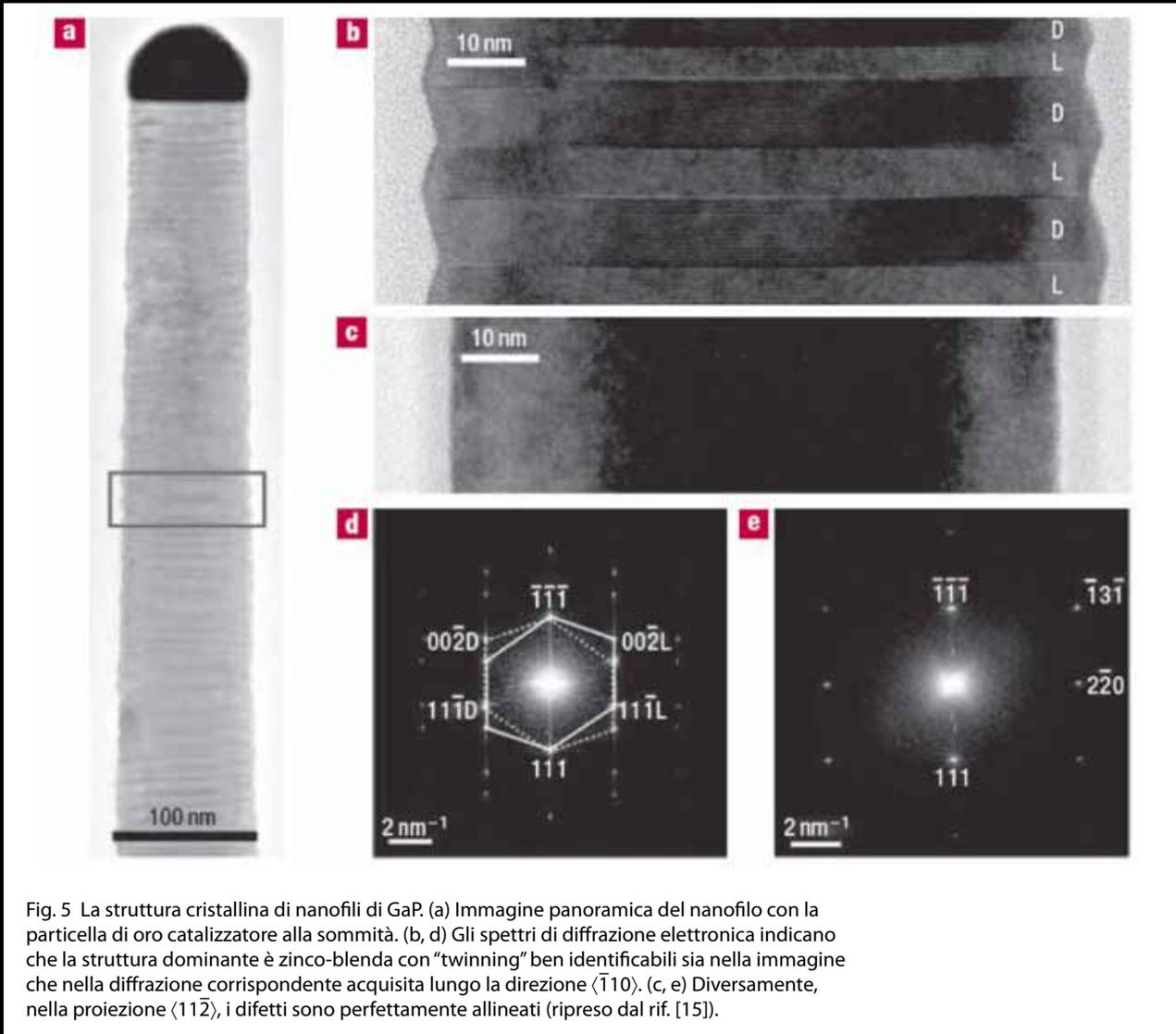


Fig. 5 La struttura cristallina di nanofili di GaP. (a) Immagine panoramica del nanofilo con la particella di oro catalizzatore alla sommità. (b, d) Gli spettri di diffrazione elettronica indicano che la struttura dominante è zinco-blenda con "twinning" ben identificabili sia nella immagine che nella diffrazione corrispondente acquisita lungo la direzione $\langle 110 \rangle$. (c, e) Diversamente, nella proiezione $\langle 112 \rangle$, i difetti sono perfettamente allineati (ripreso dal rif. [15]).

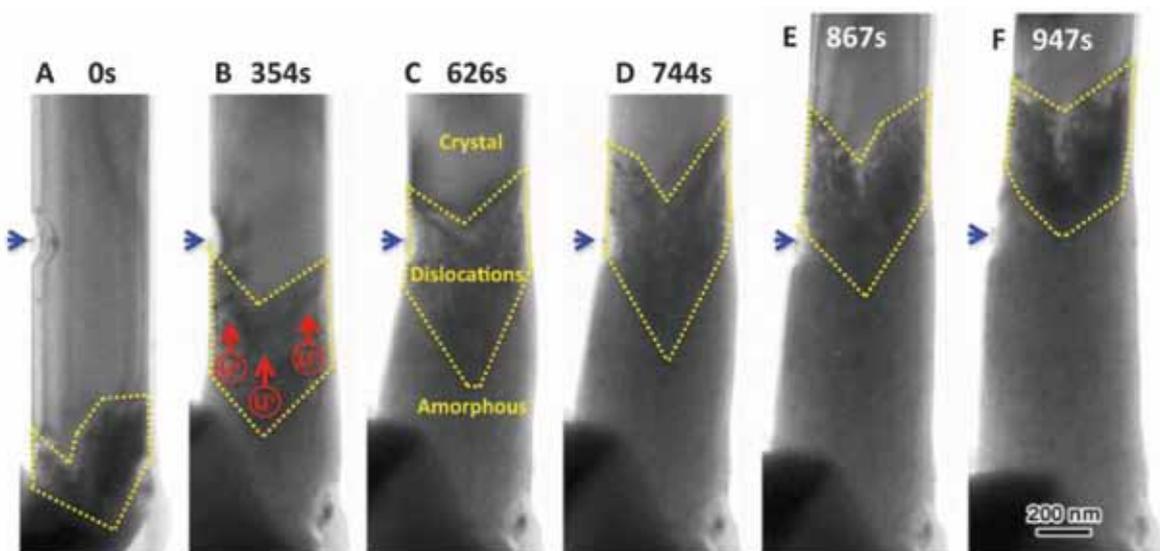


Fig. 6 Sequenza temporale di immagini TEM che mostra la propagazione di una regione ad alta densità di dislocazioni promossa dalla diffusione pilotata di ioni litio in un nanofilo di ossido di stagno. All'avanzamento dei difetti planari è anche associata l'amorizzazione della struttura cristallina del nanofilo (ripreso dal rif. [16]).

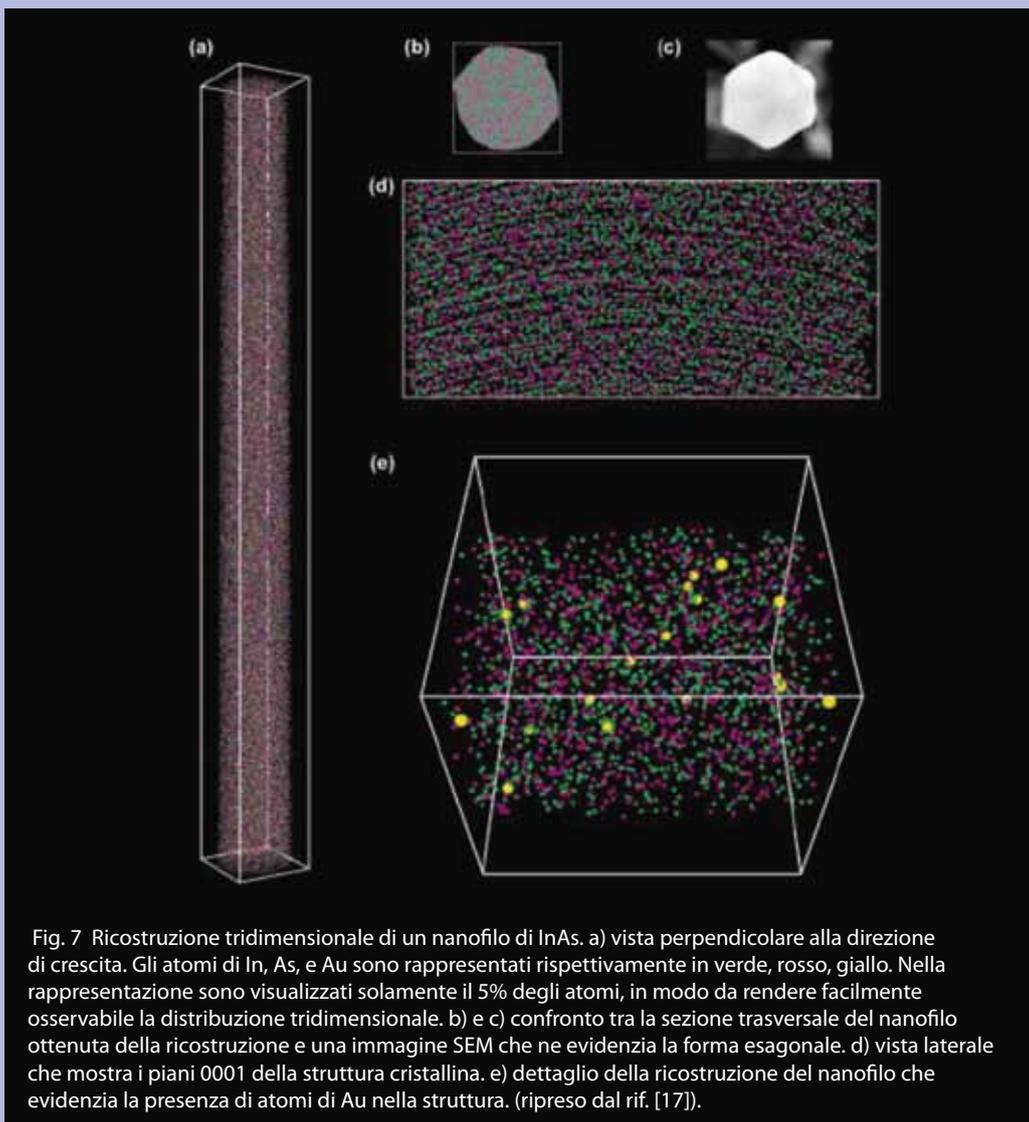


Fig. 7 Ricostruzione tridimensionale di un nanofilo di InAs. a) vista perpendicolare alla direzione di crescita. Gli atomi di In, As, e Au sono rappresentati rispettivamente in verde, rosso, giallo. Nella rappresentazione sono visualizzati solamente il 5% degli atomi, in modo da rendere facilmente osservabile la distribuzione tridimensionale. b) e c) confronto tra la sezione trasversale del nanofilo ottenuta dalla ricostruzione e una immagine SEM che ne evidenzia la forma esagonale. d) vista laterale che mostra i piani 0001 della struttura cristallina. e) dettaglio della ricostruzione del nanofilo che evidenzia la presenza di atomi di Au nella struttura. (ripreso dal rif. [17]).

immagini di diffrazione elettronica o ad elevato ingrandimento (HREM) del campione nelle zone di interesse.

Un esempio dell'applicazione della microscopia TEM ad alta risoluzione nello studio dei nanofili si può avere dal rif. [15], come si può vedere in [fig. 5](#): Gli autori hanno studiato con sistematicità la presenza di difetti di tipo twin in nanofili di Ga. I difetti sono perpendicolari alla direzione di crescita e producono una microsfaccettatura alla superficie dei nanofili. Questi difetti non sono il risultato di un processo di fabbricazione da perfezionare, ma sono intimamente legati alla struttura cristallina del materiale. Gli autori propongono che il numero di

difetti presenti nei nanofili potrebbe essere limitato cambiando la direzione cristallografica lungo la quale promuovere la crescita del nanofilo.

Infine, lo studio dei nanofili nel TEM non riguarda solamente una loro caratterizzazione "statica" ma può essere effettuato in condizione dinamiche per studiare fenomeni transitori, verificare meccanismi di crescita per i nanofili e di funzionamento in dispositivi innovativi [16]. Un esempio importante di quest'ultima applicazione può essere visto in [fig. 6](#) e riguarda lo studio di anodi innovativi per batterie di nuova generazione [17]. L'utilizzo dei nanofili può infatti contenere gli effetti della tensione reticolare introdotta

dalla introduzione/estrazione ciclica degli ioni litio durante i processi di carica/scarica della batteria. In anodi convenzionali, la tensione porta irreversibilmente alla polverizzazione dell'anodo con conseguente riduzione della capacità della batteria. Nel lavoro di Huang *et al.* [16], la dinamica di diffusione del litio in nanofili di SnO_2 , materiale largamente utilizzato in forma convenzionale per batterie, e gli effetti sulla compattezza della struttura cristallina sono stati studiati ed evidenziati tramite esperimenti *in situ* TEM appositamente allestiti.

Per la determinazione dei droganti nei nanofili, la tecnica della atom probe tomography ha dimostrato la

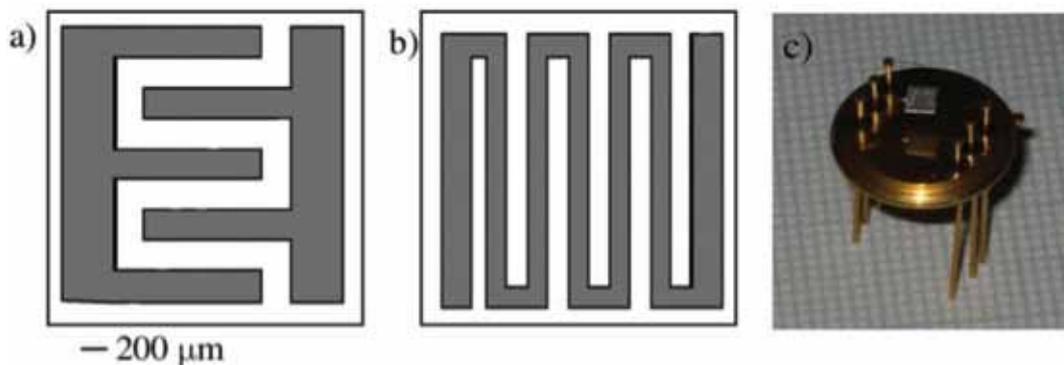


Fig. 8 Schematica rappresentazione della struttura del sensore, film sensibile con elettrodi per la misura del segnale (a), elemento riscaldante (b). Fotografia di un sensore montato su case commerciale TO8 (c).

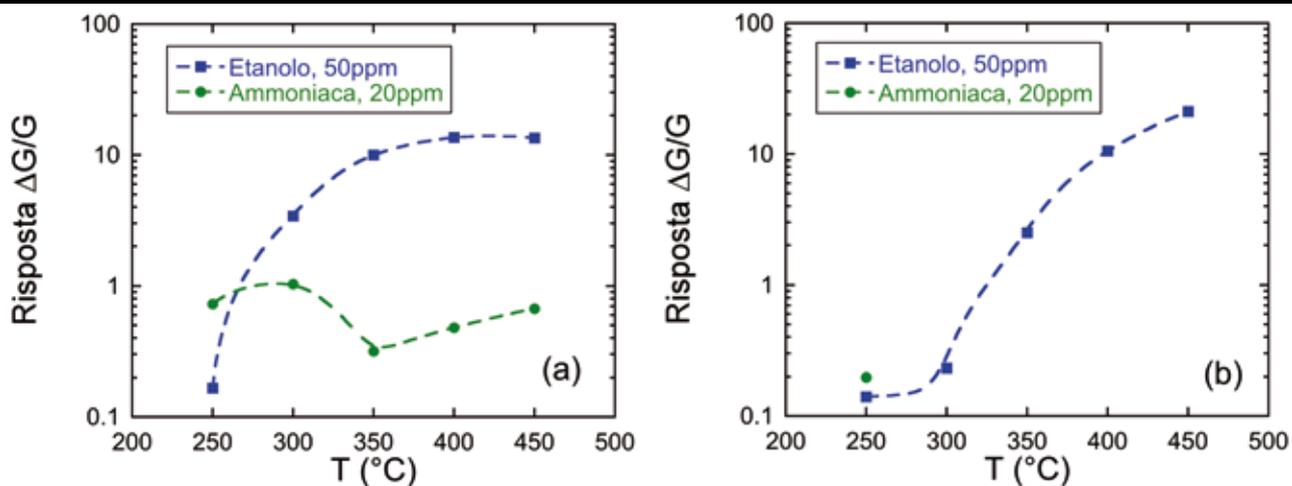


Fig. 9 Effetto della temperatura di lavoro sulla risposta nei confronti di 50 ppm di etanolo e 20 ppm di ammoniaca per un sensore a base di nanofili di SnO₂ (a) e di nanofili di ZnO (b).

Gas	Formula	Tipologia	Valore IDLH (ppm)
Biossido di azoto	NO ₂	TIC	20
Monossido di carbonio	CO	TIC	1200
Ammoniaca	NH ₃	TIC	300
Sarin (GB)	C ₄ H ₁₀ FO ₂ P	CWA - nervino	0,03
Acido cianidrico	HCN	CWA - cianuro	50
Lewiste	C ₂ H ₂ AsCl ₂	CWA - vescicante	3,5
Mostarda solforosa	C ₄ H ₈ Cl ₂ S	CWA - vescicante	1,5

Tab. I Valori tossicologici di alcuni composti chimici di interesse militare (CWAs) e simulanti utilizzati. Per confronto sono riportati anche i valori tossicologici di alcuni composti inquinanti di uso civile [19].

sua potenzialità in alcune pubblicazioni recenti. La atom probe tomography sfrutta la forma allungata dei nanofili per effettuare una misurazione tridimensionale della composizione con sensibilità elevatissima e risoluzione inferiore al nanometro. In questa maniera è stato possibile misurare la distribuzione di atomi singoli di dopante nella struttura del nanofilo (vedi *fig. 7*). La presenza di elementi estranei nei nanofili può essere dovuta alla diffusione del catalizzatore utilizzato per governare la crescita oppure può essere introdotta deliberatamente per modificare le proprietà elettriche o magnetiche del nanofilo. La misurazione sperimentale della distribuzione di elementi elettricamente attivi o di impurità consente di modellizzare la loro diffusione nelle nanostrutture.

4 Misure funzionali

Per tradurre elettricamente l'interazione tra ossidi metallici e gas la struttura più utilizzata è quella del chemiresistore, i cui elementi essenziali sono schematicamente rappresentati in *fig. 8 a*) e *b*). Su un substrato elettricamente isolante (ad esempio allumina), sono depositati lo strato sensibile e gli elettrodi (la versione maggiormente utilizzata è la più semplice, che prevede l'impiego di due elettrodi per una misura a due punte). Sull'altra faccia del substrato è depositata una serpentina metallica sfruttata per scaldare il sensore alla temperatura di lavoro (generalmente compresa tra i 200 ed i 500 °C, a seconda del gas e del materiale sensibile) mediante effetto Joule. In *fig. 8 c*) è mostrato un sensore montato su "case" commerciale TO8.

Il modello più utilizzato [18] per spiegare il principio di funzionamento di tali dispositivi è basato sulla regione di carica spaziale che si crea in superficie in seguito alla creazione di stati di superficie dovuti al chemisorbimento dell'ossigeno. Reazioni di ossidoriduzione tra gli ioni ossigeno chemisorbiti e le specie gassose presenti nell'aria comportano una modulazione della popolazione di tali ioni e dunque della regione di carica spaziale e della resistenza elettrica macroscopica dello strato sensibile.

Questo modello, per quanto semplificato, è sufficiente per fornire una spiegazione, almeno qualitativa, dell'ampio spettro di gas cui sono sensibili gli ossidi metallici semiconduttori, data la varietà di composti che possono dar luogo a reazioni di ossidoriduzione con ioni ossigeno. Allo stesso tempo, il modello evidenzia che l'impiego di un singolo sensore non permette di identificare in modo selettivo la presenza di un gas. Per ottenere una rivelazione selettiva delle specie gassose si ricorre generalmente al cosiddetto "naso elettronico" (NE): un "array" di sensori realizzati con diversi materiali, ciascuno caratterizzato da un diverso spettro di risposte, la cui risposta collettiva è analizzata mediante un software di "pattern recognition". Per la scelta e selezione dei

sensori più adatti ad una data applicazione, uno dei parametri fondamentali è la temperatura di lavoro, mediante la quale si può enfatizzare la risposta di un dato materiale a determinati composti e ridurre la sensibilità nei confronti di altri. Un esempio è mostrato in *fig. 9*, dove sono confrontati gli effetti della temperatura di lavoro sulla sensibilità di un sensore a base di nanofili di SnO₂ (a) ed un sensore a base di nanofili di ZnO (b) nei confronti di etanolo ed ammoniaca. Per quanto riguarda l'ossido di stagno, la risposta all'etanolo aumenta in modo monotono con l'aumentare della temperatura, mentre la risposta all'ammoniaca presenta un massimo intorno ai 300 °C. Nel caso dell'ossido di zinco, la risposta all'etanolo aumenta con la temperatura fino ad essere, per $T = 450$ °C, superiore alla risposta misurata con il sensore di SnO₂, mentre la risposta all'ammoniaca risulta essere decisamente inferiore ed è rilevata solo alla temperatura di 250 °C, aumentando la temperatura di lavoro la risposta non è apprezzabile.

Per quanto riguarda l'applicazione di tali dispositivi nel settore della sicurezza, gli autori hanno focalizzato la loro attenzione sulla rivelazione dei composti chimici d'interesse militare (CWAs, "Chemical Warfare Agents"). In *tabella I*, i valori tossicologici di alcuni di tali composti sono confrontati con i valori di alcuni composti inquinanti di uso civile (TICs, "Toxic Industrial Compounds"). In particolare, il limite tossicologico è espresso mediante il valore IDLH, "Immediately Dangerous for Life and Health", che identifica una concentrazione tale per cui una persona esposta ha 30 minuti per portarsi al di fuori dell'area contaminata prima di sperimentare effetti permanenti dovuti all'esposizione al gas [19]. In *tabella I* si vede la differenza dei limiti tossicologici IDLH tra i composti CWAs e TICs, in particolare, tra i CWAs, la forte tossicità dei composti nervini. Per questo motivo, la maggior parte dei lavori presenti in letteratura riguardo la rivelazione dei composti CWAs sono focalizzati sui composti nervini, lavorando, in particolare, con il dimetil metil fosfonato (C₃H₉O₃P), abbreviato con DMMP, utilizzato come simulante per il gas nervino Sarin (C₄H₁₀FO₂P) a causa della simile struttura molecolare.

L'interazione tra ossidi metallici e DMMP è stata ampiamente studiata in catalisi allo scopo di sviluppare materiali utili per lo smaltimento delle scorte di Sarin mediante reazioni catalitiche che li trasformino in composti meno pericolosi. Questi studi hanno messo in evidenza che l'interazione tra DMMP (Sarin) e ossidi metallici è dissociativa e porta alla formazione di composti fosforosi che rimangono legati alla superficie dell'ossido, anche aumentando la temperatura di lavoro fino a 600 °C. Il risultato è la diminuzione nel tempo della capacità d'interazione con il DMMP e quindi l'avvelenamento dell'ossido metallico.

Nel campo della catalisi questi risultati sono stati osservati lavorando con grandi quantità di DMMP (1000 ppm) e per tempi prolungati (ore). Nel campo dei sensori

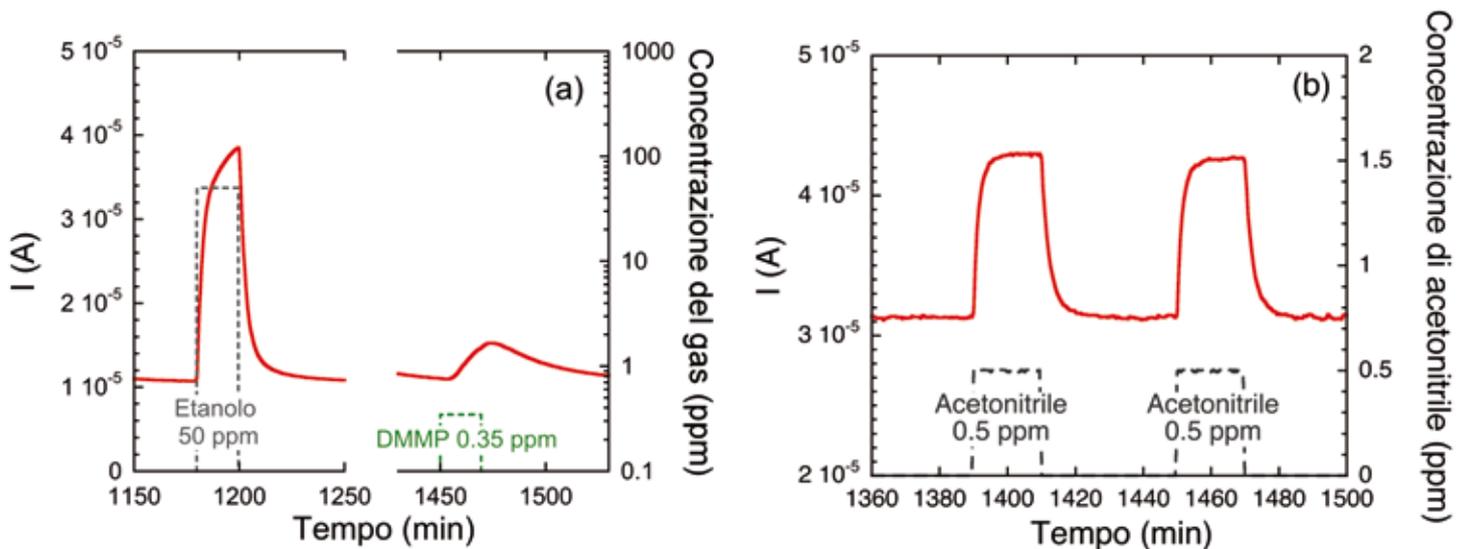


Fig. 10 Risposte dinamiche di un sensore a base di nanofili di SnO_2 nei confronti di 50 ppm di etanolo e di 0.35 ppm di DMMP (a) e di 2 ppm di acetonitrile (b). In entrambi i casi il sensore lavora in condizioni isoterme ($T_{\text{SENSORE}} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$) in aria umida con umidità relativa $\text{RH} = 30\%$ a $T_{\text{AMBIENTE}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

di gas è necessario rivalutare questi fenomeni su scale di concentrazione e di tempi ridotte, compatibili con la necessità di rivelare il gas a livelli prossimi al livello IDLH in tempi che siano i più rapidi possibile.

Una tipica curva di risposta ai vapori di etanolo (scelto come gas non tossico di riferimento) e di DMMP è riportata in fig. 10 (a). È interessante notare la capacità degli ossidi metallici di rispondere al DMMP anche a basse concentrazioni: nonostante la concentrazione di DMMP sia oltre un ordine di grandezza inferiore a quella di etanolo (0.35 ppm contro 50 ppm) la risposta al DMMP risulta comunque apprezzabile. Il limite inferiore per i sensori a base di nanofili di ossido di stagno preparati con tale tecnica è circa pari a 0.2 ppm [20], un valore prossimo al limite IDLH del gas nervino Sarin. Oltre a questo, la fig. 10 (a) evidenzia i lunghi tempi di risposta del DMMP rispetto agli altri composti gassosi. Terminata l'iniezione di etanolo, il sensore ripristina il segnale di riferimento al 70% entro pochi minuti, diversamente, terminata l'iniezione di DMMP, il sensore impiega circa 30 minuti per ripristinare il segnale di riferimento (entro il 70%). I lunghi tempi di ripristino sono stati ampiamente documentati in letteratura sia con sensori a nanofili, sia con sensori realizzati con tecnologie a film spesso e/o film sottile e sono attribuiti ai lunghi tempi di desorbimento dei composti fosforosi dovuti alla dissociazione del DMMP [20].

Effetti simili sono stati osservati solo con il DMMP. Misure eseguite con altri simulanti, come ad esempio l'acetonitrile (CH_3CN), impiegato come simulante dei cianuri, o il DPGME ($\text{C}_7\text{H}_{16}\text{O}_3$), impiegato come simulante dei composti vescicanti, hanno mostrato forti risposte già a concentrazioni prossime o inferiori ai valori IDLH dei corrispettivi CWAs, con tempi di risposta ridotti, dell'ordine di qualche minuto, confrontabili con quelli ottenuti per l'etanolo [20, 21]. Un esempio di

risposta all'acetonitrile è mostrato in fig. 10 (b).

Per lo sviluppo di sensori di gas utili per prevenire attacchi terroristici, è necessario valutare come i fenomeni di avvelenamento si ripercuotano sulla stabilità nel tempo del sensore. Questo aspetto è importante sia per valutare il tempo di vita di un sensore, ma soprattutto per sviluppare un naso elettronico (NE) che sia in grado di rivelare selettivamente il o i gas target rispetto a possibili gas interferenti. Lo sviluppo di un NE necessita di una prima fase di addestramento, in cui viene esposto ripetutamente a diversi gas (target ed interferenti) per memorizzare un database con cui imparare a classificare le diverse miscele gassose, e di una seconda fase, detta di validazione, in cui il NE viene esposto a miscele gassose note per valutarne la capacità di riconoscimento. Durante queste fasi di addestramento e validazione, lo strumento deve essere necessariamente esposto ripetutamente ai diversi gas da rivelare, incluso quindi il DMMP (Sarin) ed eventuali fenomeni di avvelenamento, e quindi di deriva nelle risposte dei sensori, risultano particolarmente critici nel determinare le prestazioni dell'intero sistema. Per approfondire questi aspetti, abbiamo lavorato con un array di misto di sensori, composto sia da sensori realizzati con tecnologia a nanofili sia da sensori realizzati con tecnologia a film sottile, mettendo in evidenza che, per quanto i fenomeni di avvelenamento riducano le capacità discriminative dell'array, esso mantiene comunque capacità selettive [20]. In un lavoro successivo abbiamo messo in evidenza come gli effetti di avvelenamento indotti dall'esposizione al DMMP si manifestino principalmente nelle risposte ad altri gas, quali ad esempio l'etanolo [22]. Esponendo ripetutamente nel tempo i sensori ai vapori di DMMP, questi esibiscono una risposta costante nei confronti del gas, diversamente, la risposta all'etanolo manifesta effetti di memoria, risultando

minore se l'esposizione all'etanolo è successiva all'esposizione al DMMP piuttosto che ad un altro gas.

Le potenzialità dei sensori di gas a base di ossidi metallici semiconduttori risiedono nell'elevata sensibilità nei confronti di diversi composti a livelli prossimi ai valori IDLH dei composti CWAs. L'ulteriore sviluppo di questi dispositivi deve necessariamente considerare gli effetti di avvelenamento indotti da DMMP e composti nervini. Per quanto questi aspetti non precludano la possibilità di una rivelazione selettiva dei composti target, la loro gestione/minimizzazione risulta uno dei principali argomenti attorno al quale ruota la possibilità di ulteriori progressi in tale applicazione degli ossidi metallici semiconduttori.

5 Dove siamo e dove arriveremo

Le matasse di nanofili si sono dimostrate quindi efficaci nella rivelazione di specie gassose nel campo della sicurezza. Ciononostante come per i film sottili, dove il meccanismo di conduzione è dominato dai bordi di grano, le temperature elevate (200–500 °C) necessarie per il funzionamento ottimale causano nel tempo la coalescenza dei grani provocando la perdita dell'iniziale struttura nanometrica, così nel caso delle matasse di nanofili la conduzione risulta dominata dalla regione di carica spaziale che si forma ai contatti tra i diversi nanofili. Le matasse di nanofili sono quindi anch'esse soggette ad invecchiamento, in quanto la loro operatività ad alta temperatura favorisce processi di stabilizzazione, che, con il tempo, diminuiscono le prestazioni del sensore.

A questo proposito in aggiunta al metodo di interrogazione a lettura elettrica, sono stati proposti metodi innovativi a lettura ottica o basati sull'emissione di ioni da superficie.

Per quanto riguarda la lettura ottica, i nanofili di ossidi metallici mostrano interessanti proprietà di emissione di fotoluminescenza (PL) nell'intervallo dell'UV-visibile a temperatura ambiente. L'interazione superficiale dei nanofili di ossidi metallici con i gas può influenzare l'intensità di PL: tale effetto permette di misurare la pressione parziale delle specie gassose monitorando il segnale di PL, ottenendo così sensori ottici di gas [23]. È stato infatti mostrato come lo spettro di fotoluminescenza dei nanofili di SnO₂ e ZnO cambia in modo riproducibile e reversibile quando sono esposti a tracce di NO₂. Inoltre, la risposta sembra essere particolarmente selettiva nei confronti dell'umidità e altre specie inquinanti quali CO e NH₃. Dato che questi sensori possono essere utilizzati anche a temperatura ambiente, oltre alla riduzione dei fenomeni di invecchiamento, sono estremamente interessanti per un utilizzo in ambiente esplosivo. Inoltre il meccanismo di trasduzione ottica permette di evitare la difficoltà di realizzare contatti su strutture a nanofili. È stato per di più verificato sperimentalmente che è possibile eccitare la PL con un LED

ad emissione nell'UV; utilizzando un fotodiodo per la lettura del segnale si può realizzare un dispositivo portatile.

Un'ulteriore proprietà dei nanofili di ZnO e SnO₂ impiegati per sensori elettrici e sottoposti ad eccitazione da parte di una radiazione UV sopra "l'energy-gap", è l'efficace generazione di fotocorrente (PC) dovuta alla ridotta dimensionalità: questa proprietà, al pari della PL, può essere utilizzata per lo sviluppo di sensori chimici di gas che sono operanti a temperature relativamente basse.

La rivelazione dei gas basata sulla ionizzazione superficiale (SI) è invece prodotta da specie ioniche che si formano a seguito dell'assorbimento di analiti su superfici solide riscaldate, trasferimento di elettroni dagli analiti assorbiti al solido assorbente e estrazione degli adsorbati carichi nello spazio libero circostante tramite un campo elettrico esterno. L'aspetto importante è che l'emissione SI è completamente insensibile alla gran parte delle specie gassose presenti in aria (N₂, O₂, H₂O) e ai comuni contaminanti (NO, NO₂, O₃). Gli idrocarburi possono essere rilevati con elevata risposta a temperature moderate della superficie solo quando contengono gruppi reattivi funzionali quali le ammine (presenti in molti esplosivi). La rivelazione SI perciò è molto interessante per rilevare composti azotati a bassissima concentrazione in presenza di molecole aggiuntive poco reattive [24]. Inoltre, l'utilizzo di nanowire di ossidi metallici non solo garantisce superfici stabili in temperatura, ma anche accresciute efficienze di ionizzazione rispetto a superfici piatte, grazie alla forma appuntita. Dispositivi di questo tipo possono essere proposti come sorgenti innovative non radioattive (quali quelle attualmente commerciali) per utilizzo nella Spettrometria di Massa Ionica per applicazioni nell'ambito della sicurezza.

Un diverso approccio per migliorare la stabilità e accrescere la sensibilità dei sensori elettrici comporta lo sviluppo di sensori basati su un singolo nanofilo contattato tramite tecniche ad elevata risoluzione litografica quali "Focused Ion Beam" o Litografia da fascio elettronico. Il dispositivo funziona essenzialmente come un "Thin Film Transistor" in cui il canale conduttivo è costituito dal nanofilo, che è connesso elettricamente da contatti metallici alle estremità. Il meccanismo di rilevazione è legato alla modulazione della regione di carica spaziale sulla superficie del nanofilo. Le ridotte dimensioni laterali del filo nanostrutturato sono cruciali affinché lo svuotamento o l'accumulo di carica avvengano attraverso l'intera sezione del filo. Il contatto di gate al di sotto del substrato fornisce un ulteriore mezzo per migliorare la sensibilità attraverso l'effetto elettroassorbitivo. Un'ulteriore riduzione nelle dimensioni dei nanofili potrebbe portare allo sviluppo di strutture e nanodispositivi mesoscopici "quantum confined" in cui l'effetto di carica del singolo elettrone e la quantizzazione della conduttanza divengono rilevanti.

La configurazione a singolo nanofilo garantisce una elevata stabilità nel tempo e alle alte temperature, dal momento che non si verifica coalescenza dei grani come nei materiali policristallini o nelle matasse di nanofili. Inoltre, il loro elevato rapporto superficie-volume e le loro dimensioni confrontabili all'estensione della regione di carica superficiale danno luogo ad un miglioramento delle proprietà legate alla superficie, quali l'attività catalitica e l'adsorbimento superficiale. Configurazioni di questo tipo sono state proposte anche per sviluppare biosensori elettrici a singolo nanofilo [25]. Le macromolecole biologiche si legano alla superficie causando la modifica dello stato di carica e perturbando il flusso di corrente nei nanofili.

Inoltre è stato recentemente dimostrato che applicando valori ben controllati di corrente attraverso sensori a singolo nanofilo permette, per autoriscaldamento da effetto Joule, di portare i dispositivi a temperature di lavoro appropriate per applicazioni nella sensoristica di gas, fabbricando sensori con consumo di potenza ultrabasso con le stesse caratteristiche di quelli dotati di microriscaldatori esterni.

Oltre alla complicazione tecnologica derivante dalla necessità di contattare singoli nanofili di dimensioni nanometriche, risolta in letteratura proponendo tecniche di allineamento basate sulla dielettroforesi [26], lo sviluppo di sensori a singolo nanofilo si è scontrata soprattutto con l'accresciuto ruolo della resistenza associata alla giunzione metallo semiconduttore in assenza di contatti di intragrano.

Giova infine ricordare che tra i materiali a stato solido, gli ossidi metallici sono dotati di ampie potenzialità grazie all'eccezionale varietà di composti e strutture che li caratterizza. Nel complesso presentano proprietà che coprono in pratica tutti gli aspetti della scienza dei materiali e della fisica, compresi campi come la superconduttività, ferroelettricità e magnetismo. Gli ossidi trovano applicazione come materiali funzionali grazie principalmente alla possibilità di variare lo stato di valenza e alla presenza di vacanze di ossigeno reticolari, responsabili del drogaggio intrinseco. Peraltro i nanofili di ossidi metallici preparati presso SENSOR opportunamente drogati possono inoltre acquisire carattere semimetallico e, in virtù anche della loro trasparenza, hanno trovato applicazioni quali elettrodi

innovativi e attivi nello sviluppo di Celle Solari sensibilizzate con colorante (dye) (DSSC), Celle Fotoelettrochimiche (PEC) per la generazione di idrogeno dall'acqua, generatori termoelettrici, elettrodi per batterie agli ioni di Li, sorgenti di elettroni a emissione di campo, biosensori elettrochimici e elettrodi per elettrofisiologia cellulare.

Ringraziamenti

L'attività di ricerca è supportata dal MIUR attraverso il progetto FIRB RBAP115AYN "Oxides at the nanoscale: multifunctionality and applications". Il supporto internazionale arriva dalla Comunità Europea e dalla Governo della Federazione Russa tramite il progetto S3 (grant agreement n° 247768 e State Contract 02.527.11.0008)

Bibliografia

- [1] W. Gopel *et al.* in *Sensors: A Comprehensive Survey* (VCH, New York) 1995.
- [2] G. Sberveglieri in *Gas Sensors: Principles, Operation and Developments* (Kluwer, Boston) 1992.
- [3] D. Appell, *Nature*, 419 (2002) 553.
- [4] X. F. Duan *et al.*, *Nature*, 409 (2001) 66.
- [5] Y. Cui *et al.*, *Science*, 293 (2001) 1289.
- [6] Y. N. Xia *et al.*, *Adv. Mater.*, 15 (2003) 353.
- [7] N. Yamazoe, *Sensors and Actuators B*, 5 (1991) 7.
- [8] Z.L. Wang, *Adv. Mater.*, 12 (2000) 1295.
- [9] M. Law, *et al. Ang. Chem. Int. Ed.*, 41 (2002) 2405.
- [10] P. Candeloro *et al.*, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 23 (2005) 2784.
- [11] R. S. Wagner, W. C. Ellis, *Appl. Phys. Lett.*, 4 (1964) 89.
- [12] K. Urban, *Nat. Mater.*, 8 (2009) 260.
- [13] M. Verheijen, R. Algra, M. Borgström, *Nano Letters*, 7 (2007) 3051.
- [14] A. Vomiero, *et al.*, *Nano Letters*, 7 (2007) 3553.
- [15] J. Johansson *et al.*, *Nat. Mater.*, 5 (2006) 574.
- [16] J. Y. Huang, *et al.*, *Science*, 330 (2010) 1515.
- [17] C. K. Chan, *et al.*, *Nat. Nanotechnol.*, 3 (2008) 31.
- [18] N. Barsan, U. Weimar, *J. Electrocer.*, 7 (2001) 143.
- [19] Y. Sun, K.Y. Ong, in *Detection Technologies for Chemical Warfare Agents and Toxic Vapours* (CRC Press) 2005.
- [20] A. Ponzoni, *et al.*, *IEEE Sensors J.*, 8 (2008) 735.
- [21] E. Comini, *et al.*, *J. Mol. Catal. A*, 305 (2009) 170.
- [22] G. Sberveglieri, *et al.*, *Thin Solid Films*, 517 (2009) 6156.
- [23] G. Faglia, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 86 (2005) 011923.
- [24] A. Hackner, *et al.*, *IEEE Sensors J.*, 9 (2009) 1727.
- [25] J. Hahn, C. M. Lieber, *Nano Letters*, 4 (2004) 51.
- [26] E. M. Freer, *et al.*, *Nat. Nanotechnol.*, 5 (2010) 525.

Giorgio Sberveglieri

Giorgio Sberveglieri è Professore Ordinario di Fisica Sperimentale presso l'Università di Brescia, dove ha fondato il Laboratorio SENSOR (<http://sensor.ing.unibs.it>). È stato Coordinatore Nazionale dei Network Applicativo e Industriale e Sensori di Gas dell'INFM; ha partecipato e coordinato numerosi progetti ed è il Delegato del Rettore per i Progetti di ricerca europei. Editore associato di IEEE Sensor Journal e referee di numerose riviste. Il suo H index è 40 in virtù di 320 lavori, 8 brevetti internazionali, 130 comunicazioni orali, 25 relazioni su invito e 5 plenary. Dal 2006 è Chairman dello Steering Committee di IMCS (International Meeting on Chemical Sensors).

OCCHIO SPECCHIO DELL'ANIMA: IL SISTEMA VISIVO UMANO VISTO DALLA FISICA

ALESSANDRO FARINI*

CNR-Istituto Nazionale di Ottica, Firenze, Italia

Come vediamo il mondo? Perché un oggetto è rosso? E il rosso percepito da una persona è identico a quello percepito da un'altra? Come riconosciamo gli oggetti? Anche un'attività quotidiana come il vedere mostra, ad uno sguardo attento e curioso, come il nostro cervello debba utilizzare in maniera attiva e creativa le capacità ottiche del nostro sistema visivo per poterci offrire una rappresentazione realistica e "utile" del mondo che ci circonda. Sotto la lente di ingrandimento del fisico questo articolo prova ad illustrare alcuni dei fenomeni connessi con la visione umana, cercando di mostrare le ragioni per cui davvero "l'occhio è specchio dell'anima" dato che il vedere è qualcosa che mette insieme tutte le capacità umane.

1 Introduzione

Uno degli aspetti più belli della fisica è che ci permette sia di affrontare i temi affascinanti dell'infinitamente grande e dell'infinitamente piccolo sia di guardare con un occhio nuovo ad esperienze quotidiane e apparentemente banali che, una volta approfondite, mostrano aspetti sorprendenti ed ugualmente affascinanti. La visione umana appartiene senza dubbio a questa seconda categoria, al punto che Charles Darwin si trovava ad affermare, ne "L'Origine della Specie": "To suppose that the eye with all its inimitable contrivances for adjusting the focus to different distances, for admitting different amounts of light, and for the correction of spherical and chromatic aberration, could have been formed by natural selection, seems, I confess, absurd in the highest degree" (supporre che l'occhio, con tutti i suoi inimitabili stratagemmi per la regolazione della messa a fuoco a distanze diverse, per permettere il passaggio di diverse quantità di luce e per la correzione dell'aberrazione sferica e cromatica, possa essersi formato per selezione naturale, sembra, lo confesso, assurdo al massimo livello).

In questo articolo prenderemo in considerazione solo alcuni dei fenomeni che riguardano la nostra visione, con lo scopo di mostrare come un'azione quotidiana come il vedere metta in gioco in pratica tutta la nostra persona e sia un atto ben lontano da un banale meccanicismo.

* e-mail: alessandro.farini@ino.it

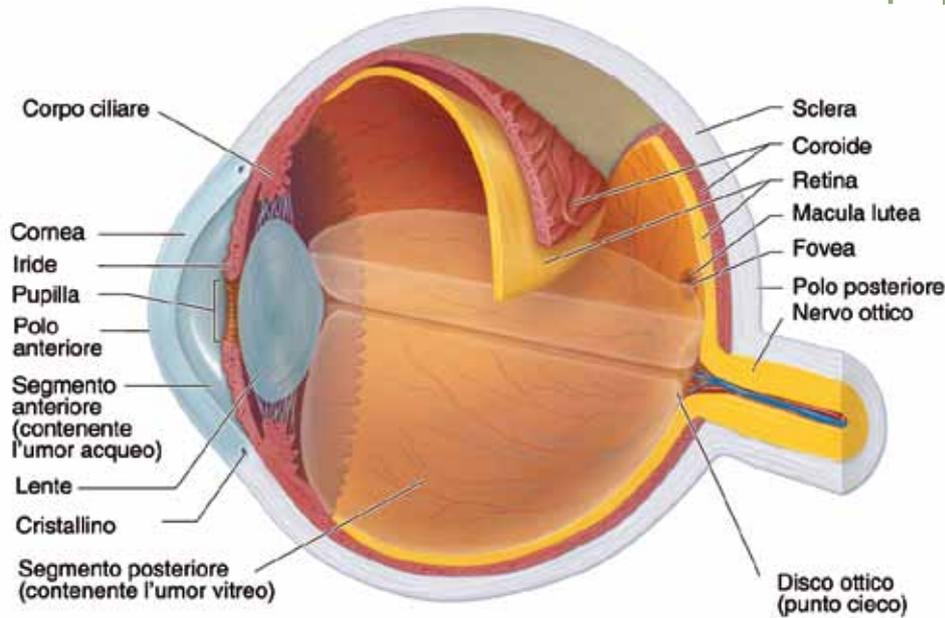


Fig. 1 Struttura schematica dell'occhio.

2 Il sistema ottico dell'occhio

Talvolta si prova a paragonare l'occhio e la macchina fotografica. Un tale paragone è quantomeno incompleto, poiché l'occhio umano (fig.1) racchiude in sé sia il sistema ottico vero e proprio, che permette il formarsi delle immagini, sia una propaggine del sistema nervoso centrale, la retina, che opera una prima analisi di tali immagini. Se proprio un paragone, fortemente incompleto, fosse obbligatorio, potremmo dire che il nostro occhio è insieme la macchina fotografica, il computer e il software per il fotoritocco.

Vediamo in primo luogo la struttura anatomica dell'occhio. Il primo strato che si incontra è la **cornea**. È uno strato trasparente non perfettamente sferico che contribuisce ai due terzi del potere diottrico dell'occhio (il potere diottrico è ciò che permette la curvatura dei raggi e la loro messa a fuoco sulla retina). La cornea è trasparente per la radiazione visibile, ma è in grado di assorbire la radiazione ultravioletta (UV) e in particolare la cosiddetta radiazione UV-B. L'effetto di assorbimento ha un'utilità poiché serve a proteggere gli strati successivi dal danneggiamento che la radiazione UV, come ad esempio quella del Sole, potrebbe produrre. Allo stesso

tempo però tale assorbimento può avere un effetto nocivo sulla cornea, procurando fastidiose irritazioni: le più comuni conseguenze dell'assorbimento di ultravioletto da parte della cornea e dei tessuti circostanti sono cheratiti e congiuntiviti. Dopo la cornea, la radiazione incontra l'**umor acqueo**, composto perlopiù di acqua, che ha lo scopo di trasportare ossigeno e nutrimento agli strati sottostanti. In seguito la radiazione deve passare attraverso la **pupilla**; si tratta di un foro, circondato dall'**iride**, che cambia di dimensione secondo la quantità di luce che vi arriva sopra: in presenza di poca luce il foro tenderà a dilatarsi (anche fino a circa 8 mm in un giovane), mentre in condizioni di alta luminosità tenderà a contrarsi fino a 2 mm. In condizioni normali di giorno la pupilla umana ha un diametro di circa 3 mm. Si tratta di un compromesso assai utile: una pupilla troppo chiusa può, infatti, dare luogo a problemi di diffrazione (quando la luce dopo aver attraversato un foro non segue le traiettorie rettilinee tipiche dell'ottica geometrica) mentre una pupilla molto dilatata evidenzerebbe il comportamento ottico tutt'altro che impeccabile delle zone più marginali del nostro occhio, le cosiddette aberrazioni. Traversata la



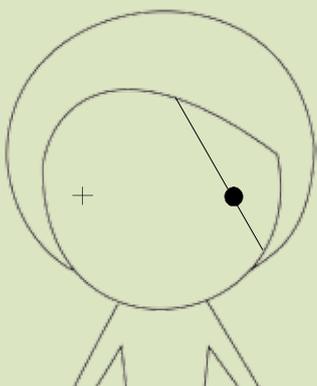
Fig. 2 Due rappresentazioni del ponte giapponese da parte di Monet: una (quella a sinistra) del 1899 e una (a destra) del 1922, quando il problema della cataratta era assai rilevante.

pupilla, la radiazione giunge sul **cristallino**; è una struttura molto complessa avente un indice di rifrazione variabile sulla sua superficie e in grado di variare la propria forma e di conseguenza il proprio potere diottrico (pari a circa un terzo del potere complessivo dell'occhio) per permettere di vedere oggetti a distanza molto diversa tra loro. Purtroppo con il passare degli anni il cristallino perde la sua capacità di variare il potere diottrico; per questa ragione insorge il fenomeno della presbiopia, che impedisce di mettere a fuoco correttamente oggetti come ad esempio i caratteri a stampa del giornale quando sono molto vicini. Il cristallino si sviluppa immediatamente (è ben visibile anche nelle prime ecografie dei feti) e cresce poi durante la vita umana. Anche il cristallino ha un'azione di filtro della radiazione UV; in particolare è in grado di assorbire la radiazione UV-A (quella emessa anche dalle lampade abbronzanti) e tale azione di filtro è utile per le strutture oculari seguenti. Anche in questo caso tale effetto non sembra avvenire senza alcuna conseguenza; studi epidemiologici evidenziano infatti che l'assorbimento di UV da parte del cristallino può essere un fattore facilitante dell'opacizzazione del cristallino stesso, la cosiddetta cataratta: l'occhio comincia a comportarsi come un filtro giallastro, modificando la percezione cromatica delle persone. Il caso più famoso di cataratta è forse quello del pittore Monet (fig. 2). Si noti che non è sempre facile accorgersi della variazione di colore provocata dalla cataratta da parte della persona che la subisce direttamente, perché si tratta di un meccanismo assai lento cui il nostro sistema visivo si adatta; ma quando una persona si opera, sostituendo il cristallino ingiallito con uno artificiale perfettamente trasparente, una delle prime cose che coglie è il colore assai più vivo degli oggetti intorno a lui. Chi scrive, trovandosi a fare un esperimento di visione del colore insieme a venti studenti universitari si è dovuto rassegnare al fatto che già a quarant'anni la visione del colore è notevolmente peggiorata. Dopo aver traversato l'**umor vitreo** la radiazione giunge infine sulla **retina**, che può analizzare il segnale.

3 La retina

La retina ha il compito di tradurre la luce in segnali nervosi, tanto che può essere vista come una parte di cervello che è andata a piazzarsi dietro il sistema ottico dell'occhio, e che è in connessione con il cervello tramite il nervo ottico. È una lamina di circa 0,25 mm costituita da tre strati di neuroni. L'ultimo strato, seguendo il percorso della luce che entra nell'occhio, è composto dai fotorecettori che sono di due tipi, coni e bastoncelli; i coni non funzionano a basse intensità di luce, vedono i dettagli fini e distinguono i colori, mentre i bastoncelli funzionano anche con basse intensità di luce, ma non sono in grado di distinguere dettagli fini e non contribuiscono (in linea generale) alla percezione cromatica. Nella retina umana vi sono all'incirca sette milioni di coni e centoventi milioni di bastoncelli; i coni sono presenti in maniera estremamente densa soprattutto al centro della retina, in una zona denominata **fovea**, mentre i bastoncelli sono distribuiti soprattutto sul bordo della retina stessa. Una tale distribuzione non è casuale, giacché i bastoncelli sono maggiormente sensibili al movimento e disposti sul bordo permettono di individuare (ma non di riconoscere) oggetti in moto. È esperienza comune che, ad esempio, quando si guarda direttamente lo schermo bianco di un monitor acceso e poi si abbassa lo sguardo osservando lo schermo in tralice, lo sfarfallio dello schermo stesso è molto più avvertibile, proprio perché in quel momento stiamo utilizzando i bastoncelli. Allo stesso modo se, mentre stiamo studiando, qualcosa, come ad esempio un insetto, si muove nel bordo del nostro campo visivo, noi ce ne accorgiamo immediatamente. Una regione della retina attorno alla fovea è detta **macula** e si estende per circa dieci gradi orizzontalmente e sei gradi verticalmente. Tale zona contiene un pigmento giallo, con un massimo di assorbimento a circa 460 nm. È un pigmento in grado di filtrare la luce; esso può quindi avere importanza nella percezione cromatica e nella sensibilità della retina. La presenza dei tre coni è di rilevante importanza per la percezione cromatica come vedremo in seguito.

Fig. 3 Chiudete l'occhio sinistro e avvicinatevi all'immagine fissando la croce: ad un certo punto il disco nero a destra sparirà. Questo perché l'immagine del disco nero va a cadere nel punto cieco.



3



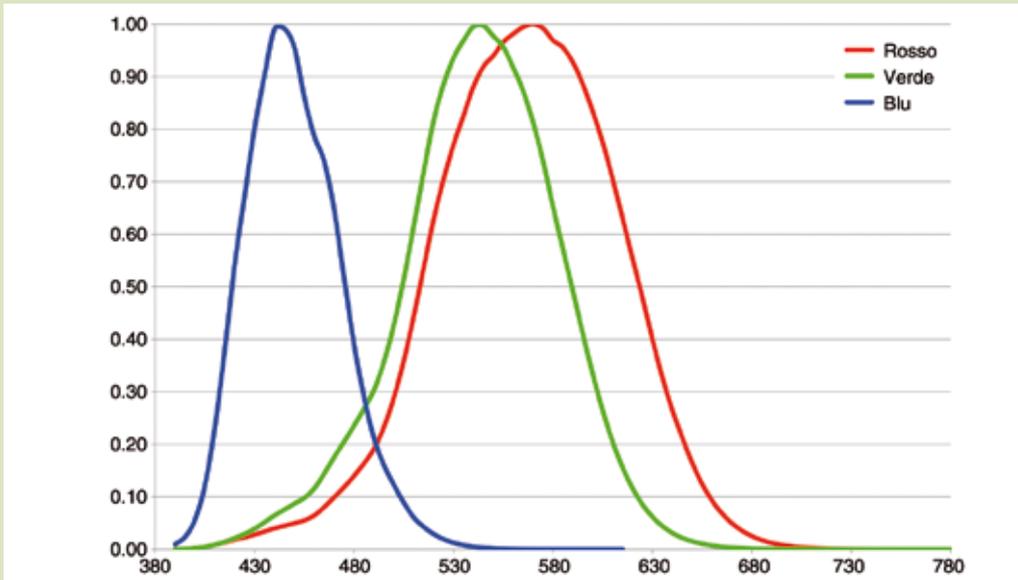


Fig. 4 Spettro di sensibilità dei coni.

4

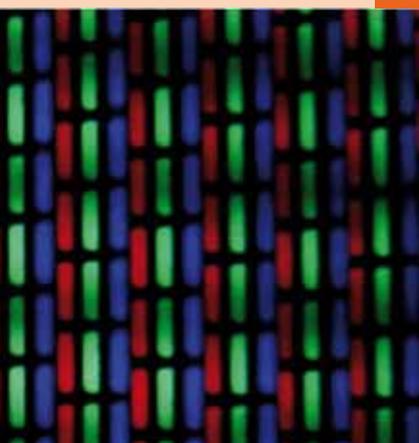
Il secondo strato, formato dalle cellule bipolari e il terzo strato, composto dalle cellule gangliari permettono il passaggio del segnale verso il cervello. Anche se dal punto di vista dell'analisi del segnale questi due strati seguono i fotorecettori, dal punto di vista fisiologico essi sono davanti al primo strato retinico. Per questa ragione il segnale nervoso per raggiungere il cervello deve riattraversare lo strato dei fotorecettori: tale strato è, infatti, buco e una parte della retina è priva di sensibilità, ed è detta **punto cieco** (fig. 3). Per molto tempo questa inversione è sembrata apparentemente irragionevole: in realtà nel 2003 vi è stata la scoperta del terzo recettore retinico, oltre a coni e bastoncelli. È stato osservato che alcune cellule a livello delle gangliari (prima cioè che la luce giunga su coni e bastoncelli) assorbono la luce e ciò sembra avere interesse soprattutto per le sue possibili correlazioni pratiche legate al ciclo circadiano, cioè al naturale ciclo di sonno e veglia degli esseri umani. Compito di questo recettore sarebbe di cambiare i livelli di melatonina, influenzando in questo modo anche la capacità di attenzione e di vigilanza delle persone. Questo fotorecettore è particolarmente sensibile alla luce di corte lunghezze d'onda,

come il blu. Per questa ragione si è ipotizzato che sorgenti con un'emissione cromatica maggiore nel blu possano offrire una maggiore capacità di esaltare le attitudini di attenzione delle persone. Tuttavia, molti interrogativi rimangono aperti prima di poter parlare di facili applicazioni di queste scoperte.

4 La visione del colore

Negli esseri umani i coni hanno tre diverse classi di fotopigmenti, che sono sensibili a zone diverse dello spettro luminoso. Come si può vedere (fig. 4) i tre coni hanno curve di sensibilità molto diverse e sono quindi sensibili a zone dello spettro visibile differenti. Per questa ragione tali coni sono talvolta chiamati, in maniera non completamente precisa, coni rossi, verdi e blu, dato che sono deputati ad assorbire, grosso modo, tale parte dello spettro. È solo la presenza di diverse classi di fotopigmenti che permette al nostro sistema visivo di riconoscere i colori. Se vi fosse un solo tipo di pigmento deputato alla visione del colore, con una fissata curva di risposta, sarebbe impossibile distinguere i cambiamenti contemporanei di intensità e di lunghezza

5



6

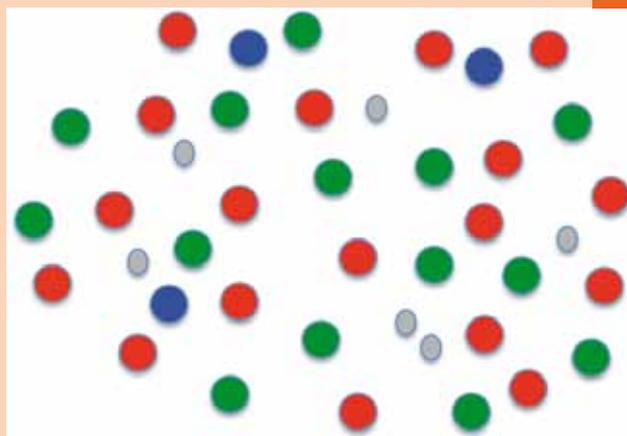
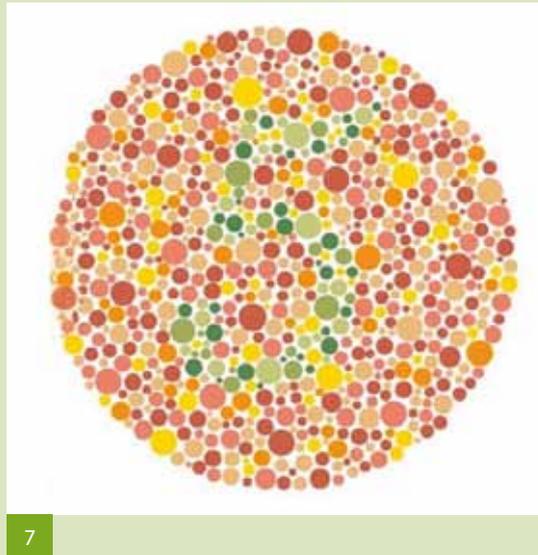


Fig. 5 Particolare ingrandito di un monitor che mostra i tre tipi di cristalli liquidi.

Fig. 6 Distribuzione dei coni sulla retina umana, in zona parafoveale, rielaborazioni dell'autore di un disegno dal volume di Hubel e Wiesel "Occhio, cervello e visione"; i coni sono in rosso, verde e blu, in grigio i bastoncelli.

Fig. 7 Esempio di una tavola di Ishiara per l'individuazione degli anomali nella visione del colore. Gli anomali non dovrebbero riconoscere il numero 5. Va ricordato che il test visto tramite il monitor del computer o una stampa non controllata non ha alcun valore diagnostico, ma serve solo come esemplificazione.



d'onda, non potendo capire se stiamo ricevendo un'elevata intensità di energia in una zona spettrale di bassa sensibilità o l'esatto contrario, cosa che impedirebbe la discriminazione dei colori. Tale effetto viene detto principio di univarianza di Rushton ed è confermato dalle analisi sui soggetti umani anomali aventi un solo ricettore del colore così come dagli studi sugli animali con un solo tipo di cono. Per avere visione del colore la condizione minima è che la retina contenga due tipi di fotopigmenti con diverse proprietà di assorbimento spettrale. La presenza di tre tipi di fotorecettori si accorda benissimo con la necessità di avere tre colori linearmente indipendenti per poter ottenere tutti gli altri: è questa la ragione per cui tutti i sistemi di riproduzione del colore contengono almeno tre canali diversi (si pensi ai fosfori rossi verdi e blu dei televisori o alle cartucce ciano magenta e giallo delle stampanti a getto di inchiostro) (fig. 5). I tre fotorecettori non sono equamente distribuiti nella retina: i blu sono presenti in percentuale molto più scarsa al centro della retina (fig. 6). La scarsità di fotorecettori blu al centro della fovea fa sì che quando si guardano oggetti con un campo visivo molto ristretto (angolarmente mezzo grado,

che corrisponde all'incirca a un oggetto di 5 mm visto a 50 cm di distanza) si può non eccitare alcun fotorecettore di questo tipo, dando luogo a un'anomalia nella percezione del colore. Va ricordato che un'elevata percentuale di maschi (circa l'8%) lamenta delle anomalie nella visione dei colori dovute a malfunzionamenti totali o parziali di uno o più coni. Infatti se uno dei tre tipi di coni è assente o funziona male, la persona può essere in difficoltà nel valutare correttamente alcuni colori. Nel linguaggio comune queste persone sono denominate daltonici, in ricordo del famoso chimico Dalton che si accorse della sua incapacità di distinguere correttamente alcune sfumature di colore. Dalton, da grande scienziato qual era, condusse varie osservazioni sulla sua visione del colore, paragonandola a quella di altre persone e giunse alla conclusione che il problema dovesse risiedere in qualcuno dei suoi mezzi oculari che aveva assunto una colorazione innaturale. Dette anche disposizioni perché dopo la morte il suo occhio fosse esaminato. Purtroppo l'ipotesi di Dalton era errata e l'esame *post mortem* non rivelò alcun problema nella colorazione del suo occhio, giacché il problema del daltonismo risiede nella retina ed ha

8

Fig. 8 Ricostruzione di come dovrebbe apparire un semaforo visto da una persona a cui mancano i coni verdi.



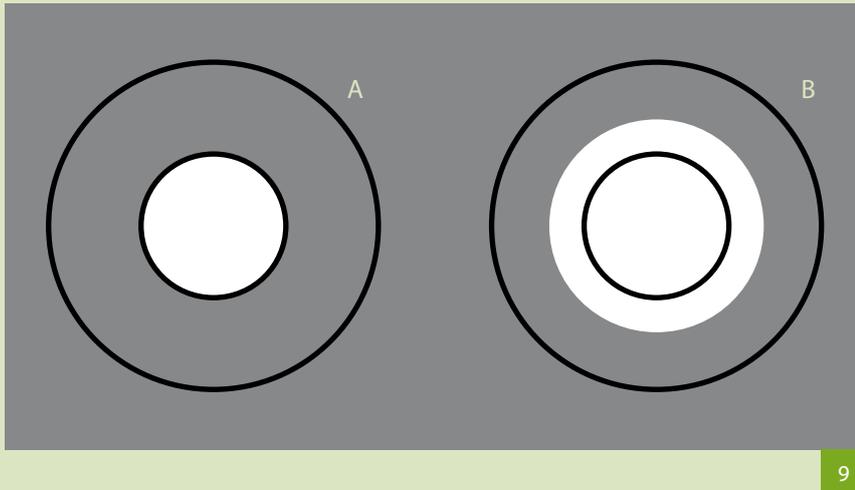


Fig. 9 Un campo recettivo centro on illuminato solo al centro (A) e illuminato anche in periferia (B); si veda il testo per i dettagli.



generalmente cause genetiche legate al cromosoma X. Per questa ragione nelle femmine la percentuale di anomalie è molto più bassa (circa il 4 per mille). Come vedano davvero i daltonici è una delle domande a cui è più difficile dare risposta. Quello che possiamo dire abbastanza bene, tramite test come quello abbastanza noto delle tavole di Ishiara (fig. 7) è quali colori vengano confusi da un daltonico, ma come lui veda davvero i colori è di difficile risoluzione, anche se tentativi si fanno (fig. 8). Per fare coraggio ai molti daltonici che potrebbero leggere il testo (l'otto per cento è percentuale tutt'altro che trascurabile) non resta che affermare che si tratta di un'anomalia assolutamente non grave e che ha, talvolta, i suoi vantaggi. Durante la seconda guerra mondiale si racconta che quando i bombardieri inglesi dovevano colpire l'Afrikakorps di Rommel era utile avere un daltonico a bordo. Infatti i teli mimetici usati dai tedeschi potevano mettere in difficoltà persone con una visione normale, che davano enorme importanza al colore, ma più difficilmente ingannavano i daltonici, che davano più importanza alla forma e alle ombre che al colore. Nel caso i coni che venissero a mancare fossero due ci troveremmo di fronte a un sistema

visivo che di nuovo non potrebbe effettuare un paragone tra due o più risposte e il soggetto vedrebbe in bianco e nero (monocromate). Non si tratta di un caso ipotetico, dato che monocromati esistono davvero. Ed esistono anche, seppur rarissime e a dimostrazione che "ci son più cose in cielo e in terra, Orazio, che non sogni la tua filosofia" (Amleto, atto I, scena V), persone che diventano monocromati durante la loro vita, per ragioni ancora da capire. Un caso, dovuto a un incidente di auto, lo racconta Oliver Sacks nel suo libro "un antropologo su Marte" ed un caso ci capitò di esaminare anche nel nostro laboratorio presso INO-CNR alcuni anni fa.

5 Dopo i coni

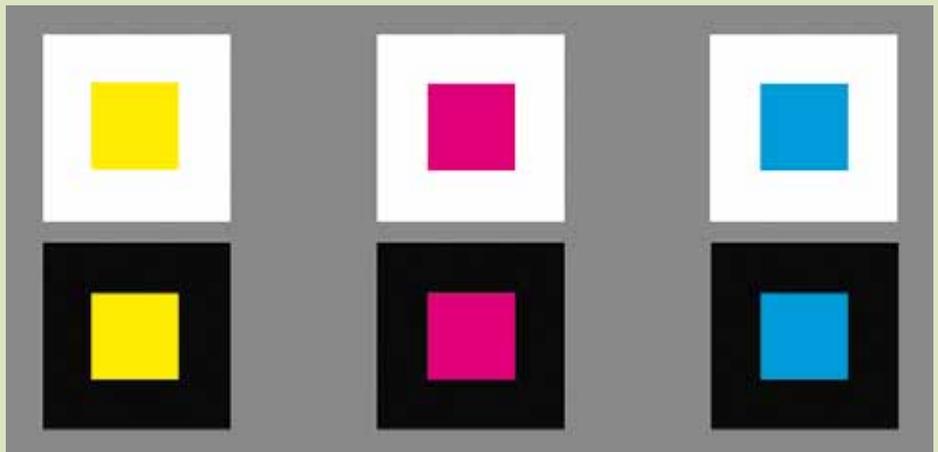
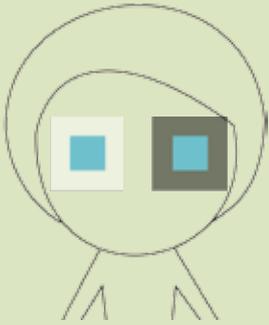
La risposta dei coni è riorganizzata dalle strutture nervose successive. La teoria attuale prevede la presenza di un canale acromatico e di due canali cromatici fondati su un meccanismo di opponenza. Il canale acromatico riceve segnali dai coni rossi e verdi (il ruolo del cono blu in questo canale, come anche nel canale rosso-verde è tuttora da chiarire), fornendo un'informazione di luminanza.

10



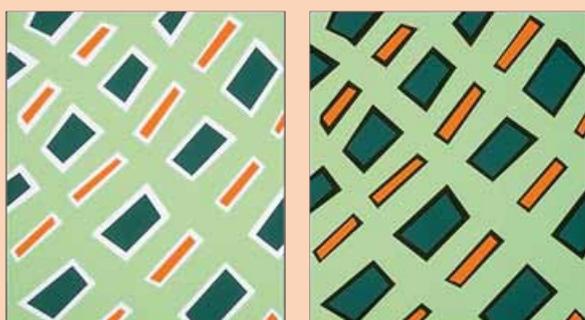
Fig. 10 Il quadrato grigio centrale è sempre dello stesso colore, quello che cambia è solo lo sfondo.

Fig. 11 I tre quadrati giallo, magenta e ciano sono identici sopra e sotto: la differente percezione cromatica è indotta dallo sfondo.

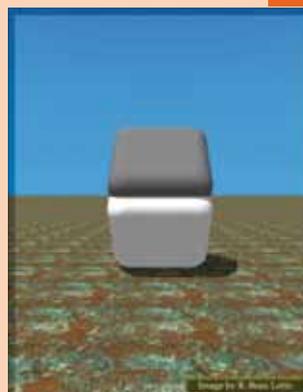


Il canale opponente rosso-verde fornisce il confronto tra la risposta dei coni verdi e quella dei coni rossi mentre il canale giallo-blu fornisce il confronto tra il segnale dei coni blu e quello ottenuto sommando i coni rossi e verdi. La cosa però più interessante è che il segnale proveniente dai coni viene riorganizzato dalle cosiddette strutture dei campi recettivi che possono essere ad esempio "centro on, bordo off". In pratica il segnale proveniente da alcuni coni viene raggruppato in una struttura composta da un disco circondato da un cerchio concentrico. Se la luce colpisce solo la zona centrale (fig. 9, A) (nella struttura centro on) si ha una risposta massima a livello cerebrale, mentre se la luce colpisce sia la zona centrale che quella marginale si ha una risposta a livello cerebrale molto più bassa, nonostante la quantità di luce che raggiunge il nostro occhio sia maggiore (fig. 9, B). Questo ci permette di capire che il nostro occhio non è un rivelatore "assoluto" di luminanza (cioè di luminosità): la struttura dei campi recettivi permette al nostro occhio di essere quasi insuperabile nella valutazione dei contrasti. Questo accade perché il cervello non riceve la risposta di ogni singolo cono indipendentemente, ma, già a livello

retinico, quello che accade a un cono e a quello accanto sono avvenimenti strettamente legati. Questo consente molti vantaggi: il piccolo prezzo da pagare è che nascono alcune interessanti illusioni ottiche che dipendono dal fatto che lo sfondo si trova ad influenzare il colore percepito di un oggetto. Ecco perché lo stesso grigio appare diverso su sfondi diversi (fig. 10) e perché i colori dipendono così tanto dallo sfondo (fig. 11 e fig. 12). È veramente sorprendente pensare che il grigio nella parte superiore e nella parte inferiore dell'illusione creata da Lotto siano lo stesso grigio (fig. 13). Diciamo una volta per tutte che è sbagliato pensare alle illusioni ottiche come ad "errori" del nostro sistema visivo: gli esempi appena illustrati evidenziano che quando il sistema visivo sbaglia lo fa quasi sempre a fin di bene, cioè i suoi errori nascono dal dover permettere interessanti capacità al nostro cervello. In questo caso le errate valutazioni di luminanza nascono dal poter arrivare a una valutazione del contrasto assai migliore. Il fatto che il contrasto dipenda dalla sfondo ha l'interessante conseguenza che, ad esempio, il colore di un dipinto può dipendere molto anche dal colore della cornice o della parete. Non sempre questo è stato evidente: alla fine



12



13

Fig. 12 Nelle due immagini l'unica differenza è il contorno dei rettangoli che da bianco è diventato nero: tutti gli altri colori sono rimasti identici, anche se è difficile da credere. Basta cambiare il contorno di alcune figure per ottenere una percezione cromatica assai diversa.

Fig. 13 In questa bella illusione creata da Beau Lotto la zona superiore e la zona inferiore della struttura al centro sono dello stesso grigio. Solo la parte centrale della figura mostra una banda bianca e nera, che è sufficiente per indurre l'illusione.

del cinquecento nella tribuna degli Uffizi venivano esposte le opere delle collezioni medicee “esaltate dal rosso velluto delle pareti”. I primi probabilmente ad accorgersi dall’importanza delle cornici furono pittori come Van Gogh, di cui ci è giunta una lettera in cui suggerisce, per il dipinto “la Camera da letto di Vincent ad Arles”, che “la cornice – poiché non c’è del bianco nel dipinto – sarà bianca”.

Un altro recente esperimento ha evidenziato la stretta correlazione tra la parte ottica del nostro sistema visivo, quella che risiede nel nostro bulbo oculare, e la corteccia visiva. Si tratta di un esperimento nato dalla banale (ma quanta scienza nasce da fatti che potrebbero essere definiti banali, solo perché non guardati con la sufficiente attenzione e curiosità di capire) osservazione che, nonostante circa ogni quattro secondi si battano le palpebre (un movimento detto ammiccamento), durante la chiusura delle palpebre, non si vede buio. La risposta più ovvia sembrerebbe che la durata della chiusura delle palpebre dovuta all’ammiccamento è troppo breve perché ci se ne possa accorgere. In fondo la chiusura e riapertura dell’occhio richiede circa un terzo di secondo e solo per metà di questo tempo l’occhio è davvero chiuso, riducendo la luminosità che arriva sulla retina di circa il 90%. Ma questa risposta non è assolutamente corretta: infatti se, di fronte a un occhio spalancato, si decide di spegnere la luce in una stanza per la stesso tempo per cui la nostra palpebra riduce la luminosità, tutti ci accorgiamo della brusca riduzione di luce. Deve quindi accadere qualcosa di diverso. Ne hanno avuto conferma alcuni studiosi che hanno condotto un interessante esperimento durante il quale hanno fatto giungere luce sulla retina anche durante l’ammiccamento sfruttando la trasparenza del palato. Ci si è così potuti rendere conto che durante l’ammiccamento la sensibilità della retina si riduce moltissimo (un po’ come se la retina staccasse i collegamenti dal cervello). In contemporanea si assiste a una grande attività della corteccia parietale del nostro cervello. Facciamo un paragone: quando guardiamo un video sul web il nostro computer tende a salvare anche parti del video che devono ancora essere riprodotte. In questo modo, se salta per qualche istante la connessione web, l’immagine rimane fluida poiché il computer ci presenta l’immagine che ha precedentemente salvato o, come si dice in gergo, bufferizzato. In modo simile il nostro sistema visivo stacca la connessione ogni quattro secondi durante l’ammiccamento e ci presenta un’immagine bufferizzata nella corteccia parietale. Sembrerebbe un impegno eccessivo per il nostro cervello dato che è svolto solo per permetterci di battere le palpebre, ma in realtà il battito delle palpebre è di fondamentale importanza, perché permette di ripulire la superficie corneale: quando battiamo meno le palpebre, ad esempio perché concentrati in una partita ad un videogame, è molto più facile avvertire un bruciore agli occhi.

6 Il metamerismo

La definizione e la perfetta individuazione di un colore sono un problema assai vasto alla base di una scienza denominata colorimetria. Si potrebbe ipotizzare di identificare il colore di un oggetto attraverso il suo spettro di riflettanza, cioè la percentuale di luce che viene riflessa indietro per ogni lunghezza d’onda. Ma tale definizione presupporrebbe una visione del colore basata su molti sensori che prendono in considerazione una singola lunghezza d’onda. La risposta del nostro sistema visivo invece è mediata dalla presenza di soli tre coni (alcuni uccelli, come ad esempio i piccioni, possono vantare cinque tipi diversi di coni e possono quindi riconoscere una grande quantità di sfumature di colore) e non è possibile analizzare lo spettro in dettaglio.

Il funzionamento del sistema visivo umano per ciò che riguarda la visione del colore può far sì che due colori, pur avendo spettri di riflettanza completamente diversi appaiano dello stesso colore: si tratta del fenomeno del metamerismo e i due stimoli che appaiono identici si dicono metameric. È un fenomeno che gli americani chiamano “problema della giacca e dei pantaloni”. Infatti capita che due capi di abbigliamento (si pensi in particolare a abiti scuri) possano apparire dello stesso colore sotto una particolare sorgente artificiale di illuminazione e diversi sotto un’altra. È abbastanza tipico in situazioni come queste esaminare gli oggetti sotto un’altra sorgente, tipicamente il Sole, per poter cogliere eventuali differenze.

Questo fenomeno sembra suggerire una robustissima influenza nella nostra percezione del colore da parte del tipo di sorgente luminosa che stiamo prendendo in considerazione, dipendenza che appare evidente quando si vogliono realizzare fotografie sotto la luce artificiale: un oggetto bianco, fotografato con una pellicola tradizionale, ma ritratto sotto una lampadina ad incandescenza, apparirà rosarancione. Uno spettroradiometro permette di evidenziare immediatamente se siamo di fronte a stimoli metameric, dato che è in grado di fornirci lo spettro di riflettanza della superficie. Esistono però anche strumenti che, pensati per un funzionamento che ricordi la nostra visione, non rivelano il metamerismo e che vengono generalmente detti colorimetri. In tali strumenti non esiste l’elemento disperdente: la luce filtrata viene inviata su tre diverse fotocellule che permettono di elaborare tre numeri corrispondenti alla risposta sulle lunghezze d’onda corte, medie e lunghe. Non ha molto senso chiedersi quale misura sia più “vera”: quello che è certo è che il mestiere dei progettisti illuminotecnici risulterebbe estremamente impegnativo se il funzionamento del nostro sistema visivo si fermasse alla stretta dipendenza dallo spettro di riflettanza, dato che tutto la fatica andrebbe a ricadere nel tentativo, spesso utopico, di riprodurre con le nostre sorgenti artificiali l’illuminazione solare. Se, anche per l’occhio, tutto si riducesse a un esame dello spettro

elettromagnetico che arriva sulla retina il colore non avrebbe per noi alcun significato, dato che varierebbe continuamente nel corso del giorno.

7 La costanza del colore

Immaginiamo di fare il seguente esperimento: prendiamo un cartone per metà bianco e per metà nero, ed immaginiamo che la parte bianca sia in grado di riflettere il novanta per cento della luce che vi arriva sopra, mentre la parte nera sia in grado di riflettere il dieci per cento. Se ci troviamo in casa con le finestre chiuse sotto una lampada abbastanza potente possiamo immaginare che arrivino sul cartone circa 100 Lux (il Lux è un'unità di misura fotometrica, ma non ci interessa in questo momento entrare in dettagli, per cui utilizziamola come una generica unità di misura della luce). La parte bianca rifletterà quindi verso di noi novanta unità di luce, mentre la parte nera dieci. Immaginiamo ora di uscire sotto il Sole. Non è necessario che sia mezzogiorno perché il Sole faccia arrivare sul nostro cartone circa 1000 Lux. A questo punto il nostro cartone riflette novecento unità per ciò che riguarda il bianco e cento unità per ciò che riguarda il nero: di conseguenza il segnale che giunge al nostro occhio dal nero è più luminoso del segnale che arriva dal bianco quando siamo in casa. Eppure questo non ci fa nemmeno per un istante dubitare sui colori delle parti del cartone, e non ci spinge a giudicare il bianco all'interno più scuro del nero all'esterno. Questo è solo uno dei moltissimi esempi di costanza che il nostro sistema visivo mette in gioco per evitare che i nostri sensi siano ingannati dal cambiamento delle condizioni di luminosità o dalla tonalità di colore della luce. Un'altra capacità estremamente interessante del nostro cervello è detta costanza di colore e ci permette di continuare a vedere un oggetto dello stesso colore anche sotto sorgenti

spetttralmente molto diverse, come può essere il caso di una lampada ad incandescenza, del cielo blu, del sole al tramonto o di una lampada fluorescente (fig. 14). Uno degli esperimenti più interessanti in questo settore fu realizzato da Land nel 1974, utilizzando mosaici di pezzi di carta colorata simili a un quadro di Mondrian. Proviamo a darne una breve descrizione. Per illuminare il dipinto si utilizzano, in una stanza buia, tre proiettori con tre filtri cromatici abbastanza stretti su corte (filtro blu), medie (filtro verde) e lunghe (filtro rosso) lunghezze d'onda. I tre proiettori sono guidati da tre potenziometri in modo da poterne variare l'intensità di emissione con continuità per un ampio intervallo di valori. Per prima cosa con tutti e tre i proiettori accesi in modo da poter simulare una sorgente luminosa "bianca" si valuta il colore di una delle macchie: immaginiamo che tale macchia appaia blu. Possiamo misurare, utilizzando uno spettrofotometro, la risposta di intensità luminosa della macchia tenendo accesi alternativamente ognuno dei tre proiettori ed ottenendo così una terna di valori corrispondente alla nostra percezione blu. A questo punto si misura con il nostro spettrofotometro un'altra macchia di colore diverso, ad esempio verde. Accendendo solo il proiettore rosso si modifica il valore del potenziometro in modo da riprodurre esattamente la stessa lettura che abbiamo avuto per la macchia blu. La stessa procedura si ripete per gli altri due proiettori. È facile immaginare che, a questo punto, se accendiamo tutti e tre i proiettori contemporaneamente la nostra macchia apparirà blu, dato che le letture coincidono: in realtà la macchia continua ad apparire verde, senza preoccuparsi dell'equivalenza delle letture. Per Land questo provava che il colore di una superficie all'interno di una scenario complesso non dipendeva solo dallo stimolo fisico. In un certo qual modo il nostro cervello deve essere in grado di valutare le caratteristiche spettrali di un illuminante e deve poter

14



Fig. 14 Una fotografia scattata con una tradizionale pellicola analogica a una scala illuminata da una lampada al tungsteno (in alto) e dal Sole (in basso): la foto rivela una differenza cromatica che, trovandosi sul posto, la costanza di colore maschererebbe.

ricostruire le caratteristiche della superficie illuminata, deve cioè saper “sottrarre l’illuminante”. Questo tipo di capacità è di fondamentale importanza per poter assegnare un valore all’informazione legata al colore, e per questa ragione è una capacità che non è esclusiva degli essere umani, come ha provato un interessante esperimento di Ingle del 1985 condotto sui pesci. Egli addestrò gli animali a raggiungere sempre, all’interno di un dipinto stile Mondrian, le macchie di un determinato colore. Quello che notò fu che i pesci tendevano sempre a dirigersi verso le macchie di quel colore anche quando il cambiamento di illuminazione provocava una variazione nelle lunghezze d’onda riflesse dalla superficie: anche i pesci sono quindi dotati della costanza di colore. Questo fenomeno permette al progettista illuminotecnico di scegliere, entro certi limiti, lampade con una diversa resa del colore senza modificare eccessivamente la percezione cromatica delle persone (ed eventualmente anche degli animali) presenti nella stanza.

Anche la costanza del colore ha dei limiti. Il più interessante è quello per cui essa non può funzionare quando il nostro campo visivo è occupato da una singola superficie colorata illuminata da una sorgente nascosta: in questo caso il sistema visivo non ha alcuna informazione utile per scomporre il contributo della superficie da quello della sorgente. Per avere costanza di colore è quindi assolutamente necessario avere a disposizione almeno due superfici di colore diverso all’interno della scena osservata, il che suggerisce che il colore di una superficie sia determinato non solo dalla composizione spettrale della luce riflesse dalla superficie, ma anche dalla composizione spettrale di tutto ciò che la circonda. È come se il nostro sistema visivo in questo modo fosse in grado di valutare i rapporti di riflettanza tra i vari colori. Se poi tra gli oggetti da valutare vi è qualcosa di colore noto, come ad esempio un volto, il lavoro del cervello è facilitato.

Le aspettative del nostro sistema visivo sono assai importanti sulla nostra percezione del mondo. Un interessante esperimento di Bloj, Kersten e Hulbert ha messo bene in evidenza questo aspetto: hanno fatto vedere ad alcuni soggetti un cartone rosso e bianco piegato in modo tale che la faccia rossa si trovasse di fronte alla faccia bianca e hanno chiesto ai soggetti di determinare il colore della faccia bianca. Nonostante il colore “reale” sia un rosa, dovuto alla riflessione della faccia rossa su quella bianca, tutti i soggetti identificavano il colore come bianco. Ma se,

grazie a un sistema ottico, si lasciava il cartone nella stessa posizione, ma si faceva credere agli osservatori che fosse piegato all’incontrario, come un tetto, in una posizione che non avrebbe reso possibile la riflessione del rosso sul bianco, tutti i soggetti identificavano la faccia come rosa, nonostante il colore della superficie non fosse assolutamente cambiato dal punto di vista fisico.

8 Conclusioni

Sarebbe impensabile illustrare in un unico articolo tutti gli aspetti interessanti che lo studio delle proprietà del nostro sistema visivo ci mette di fronte. Lo scopo di questo lavoro era solo quello di incuriosire e di costringere ad avere un po’ di ammirazione quando ci si rende conto che siamo in grado di riconoscere il colore degli oggetti sotto ogni tipo di luce o quando ci si accorge della precisione con cui possiamo valutare il contrasto degli oggetti. Chi fosse riuscito a resistere alla prolissità del testo potrebbe (speriamo) aver intuito che il meccanismo della visione è un meccanismo che chiede una stretta relazione tra il mondo esterno ed un io che vede. Questo non deve condurre (e non è comunque compito del fisico farlo) a una posizione soggettivista o idealista, o peggio ancora a negare l’esistenza di una realtà oggettiva. Ma è probabilmente una dimostrazione del fatto che il modo con cui conosciamo la realtà è quello della continua relazione tra noi e il mondo. La più grande esaltazione dei nostri sensi e della nostra mente insieme è probabilmente in quei versi della *Commedia* in cui Dante, in maniera assai scientifica e moderna, afferma che l’uomo “Da sensato apprende ciò che fa poscia d’intelletto degno” (Par IV,41-42).

Letture di approfondimento

I riferimenti ai molti articoli scientifici che sono serviti da base per questo lavoro sono stati volutamente omessi per non appesantire il testo. Chi desiderasse approfondire i temi descritti nell’articolo può sicuramente trovare molti spunti nel volume edito nel 2008 da Zanichelli “Arte e Cervello” di Lamberto Maffei e Adriana Fiorentini. Molti esempi legati alla percezione si trovano nei volumi di Oliver Sack editi da Adelphi. I fortunati possessori di iPad possono scaricare l’applicazione gratuita “Color Uncovered”, realizzata dall’Exploratorium di San Francisco, che illustra molti dei concetti espressi in maniera multimediale.

Alessandro Farini

Alessandro Farini è un fisico laureato presso l’Università di Firenze dove ha conseguito anche la specializzazione in Ottica. È il responsabile del Laboratorio di Ergonomia della Visione del CNR-Istituto Nazionale di Ottica, laboratorio dedicato alla Psicofisica Applicata, ed in particolare allo studio dell’illuminazione e dell’ottica oftalmica. È docente di fotofisica del processo visivo e di psicofisica presso il corso di laurea in Ottica e Optometria dell’Università di Firenze. Ulteriori dati sul sito web: www.ino.it/home/farini e sul suo blog www.riflessioniottiche.it

I 50 ANNI DEI LABORATORI DI LEGNARO: UN PEZZO DI STORIA DELLA FISICA DEI NUCLEI IN ITALIA

R. A. RICCI

Laboratori Nazionali di Legnaro, Padova, Italia

"Il passato non è morto e sepolto. Forse non è neppure passato"
William Faulkner

In un noto romanzo di Ken Follet "The pillars of the earth" che, tra l'altro, è stato oggetto di una interessante miniserie televisiva (SkyR4), si racconta la storia, immaginaria, della costruzione di una Cattedrale, la Cattedrale di Kingsbridge, nel XII secolo. Attorno a questa costruzione che dura diversi anni si intrecciano, sia pure in modo molto romanzato, le vicende umane, fatte di episodi emozionanti, violenti, ambigui, gloriosi e tragici ma all'interno dei quali il filone principale è la volontà, la tenacia, la capacità e la visione ideale dei progettisti e dei costruttori (i "maestri costruttori") che sono i veri protagonisti del successo dell'impresa e del suo affermarsi per il futuro. Pilastri e uomini dunque come in ogni altra vicenda umana che si inserisce nella storia, in una storia grande o piccola che sia. Anche nella storia della scienza, della fisica ad esempio, si sono costruiti pilastri grandi e meno grandi ma sempre importanti per lo sviluppo della conoscenza e quindi della civiltà. In Italia gli esempi sono innumerevoli e limitandoci alla fisica, alla nostra fisica, l'INFN ne è un paradigma così come i Laboratori universitari e nazionali che ne costituiscono un elemento anche storico di prestigio ma dietro ai quali vi sono sempre persone, pionieri, costruttori, ricercatori, tecnici che ne hanno fatto la storia. Raccontiamo qui le origini e la storia di uno di questi pilastri fondamentali per lo sviluppo della fisica di nuclei in Italia, i Laboratori di Legnaro di cui ricorre il 50° anniversario della fondazione (fig. 1).

Introduzione

La storia della fisica dei nuclei in Italia non è perfettamente lineare. Va precisato che la specificità della dizione "Fisica dei Nuclei" ha una sua ragione per il fatto, soprattutto in Italia, che, a partire dai primi anni del dopoguerra, la rifondazione della fisica italiana, per circostanze varie, non ultime le condizioni strumentali più consone, privilegiò sostanzialmente le ricerche sui raggi cosmici da cui doveva derivare il grande impulso alla fisica delle particelle elementari che ha costituito e costituisce tuttora il filone principale delle ricerche d'avanguardia, in campo sia sperimentale che teorico, su cui si fonda, del resto giustamente, buona parte del prestigio internazionale della fisica italiana. La fisica dei nuclei, ossia il settore di fisica (nucleare) che si occupa più propriamente della struttura e della dinamica dei nuclei atomici, deve tale distinzione all'evoluzione storica della fisica nucleare da E. Fermi e



Fig. 1 Legnaro 1961: il "primo pilastro": la torre dell'acceleratore CN da 5,5 MV in costruzione.

E. Amaldi in poi fino alla fondazione dell'INFN (1951) passando per la fase di arresto del periodo bellico. Non è questa la sede per una ricostruzione storica di questo tipo e sarebbe del resto una pretesa fuori luogo. Vale la pena tuttavia di ricordare come i due filoni principali, studio dei raggi cosmici e fisica nucleare, fossero nati dallo stesso ceppo e che, sia pure a varie riprese, riapparvero in forma diversificata negli anni della ricostruzione, come ben evidenziava Edoardo Amaldi nel suo discorso pronunciato in occasione del Convegno su "Prospettive della Fisica fondamentale" (Roma, 1978) [1]. Nel riferire sulla ripresa della attività di ricerca a Roma, Amaldi in effetti ricorda che: "[...] Le grandi linee di ricerca erano essenzialmente ancora due come nel 1938: lo studio dei raggi cosmici, guidato da Gilberto Bernardini e la fisica nucleare di cui mi occupavo io personalmente. Quest'ultima attività veniva svolta in collaborazione con Daria Bocciarelli e Giulio Cesare Trabacchi dell'Istituto Superiore di Sanità usando, come sorgente di neutroni, l'impianto da 1,1 milioni di Volt che avevamo costruito, insieme con Franco Rasetti, negli anni 1937-1938 [...]".

È interessante osservare come Amaldi, riferendosi a tale strumento, si ricolleggi alla fisica dei neutroni che è da considerare come l'antesignana della fisica nucleare (dei nuclei) in Italia; non solo ma anche per l'ulteriore sviluppo delle connesse attività di carattere applicativo.

Contemporaneamente, in effetti, a Milano, sotto la direzione di Giuseppe Bolla, partiva il progetto di un Laboratorio di fisica nucleare applicata con la creazione del CISE (Centro Italiano Studi ed Esperienze), fatto che preludeva alla costituzione del CNRN (Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari) nel 1952 poi trasformatosi, nel 1960, nel CNEN (Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare). Questo filone milanese di fisica nucleare (G. Bolla, C. Salvetti, G. Salvini, M. Silvestri) si distingueva esso

pure dal filone raggi cosmici (G. Cocconi, A. Mura, G. Tagliaferri, G. Salvini), con più attenzione alle ricerche riguardanti le misure di sezioni d'urto di scissione dell'uranio e con possibili prospettive per l'energia di fissione nucleare [2].

Tornando all'importanza, direi storica, delle ricerche con neutroni in Italia, va ricordato che in effetti furono proprio le reazioni con neutroni ad aprire il campo della fisica dei nuclei con l'utilizzo diffuso degli acceleratori-generatori di neutroni da 14 MeV in varie università italiane negli anni '60. Si ricordi, a questo proposito, l'evoluzione delle attività al CISE in relazione anche allo sviluppo della fisica nucleare fondamentale dei gruppi di Milano, a partire dall'utilizzo dell'acceleratore Cockroft-Walton da 150 kV, costruito da Emilio Gatti, con il quale sono state misurate le prime sezioni d'urto di fissione e usati i neutroni da 14 MeV dalla reazione (d, t) per lo studio di reazioni (n, p) e (n, d) con rivelatori a gas accoppiati a scintillatori a CSI (gruppo Facchini). Un acceleratore dello stesso tipo era stato costruito presso l'Istituto di Fisica di via Saldini, dove il gruppo L. Colli, M. Pignanelli, S. Micheletti, proseguì lo studio delle reazioni con neutroni. Più tardi, nel 1958-1960, venne costruito un acceleratore elettrostatico Van de Graaf da 3,5 MV (l. Iori) portato poi nella nuova sede del CISE a Segrate, con il quale furono intrapresi studi di reazioni indotte da neutroni e protoni, sul modello statistico e sulle fluttuazioni di Ericson (l. Iori, M. Pignanelli, E. Gadioli) usando tra l'altro i primi rivelatori al silicio costruiti nel laboratorio di Gatti. Iniziava inoltre in quegli anni la progettazione e la costruzione, presso l'Istituto di Fisica, del ciclotrone AVF da 50 MeV di protoni che comincerà a funzionare nel 1965 (G. Tagliaferri, C. Succi) estendendo le ricerche del gruppo milanese alle reazioni di trasferimento e ai processi di pre-equilibrio e precludendo alla realizzazione di un ciclotrone superconduttore (F. Resmini, E. Acerbi) per ioni pesanti che sarebbe poi stato

trasferito ai costituenti Laboratori Nazionali del Sud (1976) [3].

Considerato che, come vedremo, in altre università e laboratori italiani l'acquisizione di acceleratori elettrostatici per la produzione di neutroni veloci fu un po' il cavallo di battaglia per organizzare ricerche nucleari di bassa energia accompagnate tuttavia da macchine circolari a RF come il betatrone di Torino e successivamente e più specificamente il ciclotrone di Milano, il risorgere di tali attività preludeva già ad uno sviluppo più organizzato.

1 La fisica nucleare in Italia negli anni '50-'60

Come fa rilevare Claudio Villi [3] l'attività di fisica dei nuclei in Italia era tuttavia viva negli anni 1950-1956: "[...] quando un gruppo di ricercatori che nell'immediato dopoguerra aveva condotto esperimenti con i raggi cosmici, cominciò ad effettuare misure di sezioni d'urto di reazioni fotonucleari con il betatrone dell'Università di Torino". Esperimenti di questo tipo, i primi di fisica dei nuclei, si estendono poi all'uso di generatori elettrostatici di bassa energia. Ciò è dimostrato dalla installazione (Torino, Trieste, Catania) in quegli anni di macchine di questo tipo per ricerche appunto di fisica nucleare di bassa energia. Questa terminologia molto diffusa fino agli anni '70, oltre a stabilire una distinzione operativa ma anche concettuale (si soleva giustificare il termine introducendo un parametro di soglia inteso come limite dato dalla soglia di produzione dei mesoni, al di sopra della quale si apriva il fronte delle particelle elementari oggetto della fisica nucleare di alta energia), finiva per dare al settore una qualifica di fisica meno importante o per lo meno non di frontiera.

Come già accennato, nel 1951, per iniziativa di Edoardo Amaldi e Gilberto Bernardini (Roma), veniva costituito, sotto l'egida del CNR, l'INFN alla cui fondazione parteciparono, nella prima

fase, le sezioni di Milano (G. Bolla), Torino (G. Wataghin), Padova (A. Rostagni). Ricorda Villi, che tale istituzione "[...] ebbe lo scopo di mantenere in vita e sviluppare una tradizione culturale e scientifica che risaliva a quasi trent'anni prima ed aveva le sue lontane radici nelle ricerche teoriche e sperimentali di fisica nucleare e sulla radiazione cosmica svolte tra il 1932 e il 1938, le une dalla scuola di Enrico Fermi [...] a Roma, le altre [...] a Padova, Firenze, Milano [...]". È di quegli anni la decisione di costruire un elettrosincrotrone (ES) da 1000 MeV (1953) istituendo una apposita Sezione Acceleratore presso l'Università di Pisa (1954), poi trasferita a Roma e definitivamente a Frascati (1957), con l'istituzione dei Laboratori Nazionali di Frascati, dove l'ES venne costruito ed installato, sotto la direzione di Giorgio Salvini, entrando in funzione nel febbraio 1959. Nel frattempo l'ES prima e tutto l'INFN poi furono trasferiti al CNRN trasformatosi nel 1960 in CNEN. Ciò assicurava maggiore certezza di finanziamenti e metteva le basi per il futuro della fisica della particelle elementari in Italia, anche se patrocinate – vedi curiosità – dalla strategia nuclearista oggi tanto vituperata.

Parallelamente, sia pure con mezzi molto minori, gli anni '60 videro un primo vero sviluppo della fisica dei nuclei. È un pezzo di storia dell'INFN, infatti, quello che porta i fisici nucleari (di bassa energia) italiani ancora in posizione difficile per "mancanza di larghi spazi e adeguati finanziamenti", come ebbe a dire Giorgio Salvini [4] nella sua relazione sull'attività dell'INFN dal 1966 al 1969 alla fine del suo mandato di presidente, e quindi non in condizioni di competere a livello internazionale, vista la necessità di macchine acceleratrici, alla successiva impressionante evoluzione.

La situazione di quegli anni è illustrata in fig 2.

In effetti le ricerche allora sviluppatesi riguardavano in particolare certi aspetti della dinamica nucleare mediante lo studio di reazioni nucleari e diffusione

elastica e inelastica indotte da particelle leggere (p, n, d, ^3He) e di processi di fissione e fotoreazioni indotte da radiazioni gamma.

Inoltre, oltre all'interesse dell'INFN per le già menzionate attività del CISE con l'acceleratore Van de Graaf da 3,5 MV poi trasformato in Tandem da 8 MV, è a Catania e a Padova che si prefigurano le basi per uno sviluppo imponente che porterà alla istituzione, negli anni '70, di due grandi Laboratori Nazionali.

A Catania, promotore Renato Ricamo, l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 2,5 MV da parte del Centro Siciliano di Fisica Nucleare con fondi regionali e del Ministero per la Pubblica Istruzione, creò le premesse sulla base delle quali, circa 20 anni dopo, l'INFN avrebbe istituito i Laboratori Nazionali del Sud¹.

A Padova, presso l'Istituto di Fisica dell'Università che era già ben avviato nelle ricerche di fisica dei raggi cosmici, Antonio Rostagni (fig. 3) decise di intraprendere nuove attività nel campo della fisica dei nuclei che portò, come vedremo, alla creazione del Laboratorio dell'Acceleratore di Ioni nell'ambito dell'allora Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto che si era dotato di un acceleratore Van de Graaf da 5,5 MV (1961) e che già faceva intravedere lo sviluppo verso il primo Laboratorio Nazionale di Fisica dei Nuclei, a Legnaro.

Poiché nel frattempo, oltre a quanto si stava sviluppando, come si è visto, a Milano, anche a Trieste la locale sottosezione INFN si era dotata nel 1959 di un generatore elettrostatico Cockroft-Walton da 200 kV e a Torino, oltre al betatrone (acceleratore di elettroni) e al sincrotrone utilizzati per studi di fotoreazioni, esisteva un altro

¹ I Laboratori del Sud hanno seguito una strada pressoché analoga a quella dei Laboratori di Legnaro: dal primo pilastro costruito da Ricamo alla costituzione di un laboratorio nucleare nel contesto regionale siciliano fino alla costituzione dei Laboratori Nazionali grazie all'iniziativa e alla perseveranza di protagonisti come A. Agodi, E. Migneco, C. Milone, G. Pappalardo, R. Potenza, A. Rubbino.

FISICA NUCLEARE in ITALIA Anni 50 – 60	
DA	ATTIVITA' LOCALI (~ Università)
(TORINO, MILANO, PADOVA, TRIESTE, ROMA, CATANIA reazioni nucleari, proprietà nucleari da decadimenti radioattivi, processi di fissione.....)	
A	ESPERIMENTI CON FACILITIES DEDICATE
TORINO:	BETATRONE (e) Acc. E.S. CW 300 kV → n 14 MeV α Fotoreazioni, reazioni, scattering + SINCROTRONE: fotodisintegrazioni assorbimento fotonico (~RG)
TRIESTE:	Acc. E.S. CW 600 kV → n 14 MeV reazioni n, ...p... n. scattering
CATANIA:	V.d.G. (p; d) → 2 MeV fissioni da n, d, ^3He trasf.
MILANO:	CICLOTRONE 2xFoc 20-40 MeV p reazioni, scattering nuclei leggeri p, α p→fissione, nucleo composto
CISE:	V.d.G. 3,5 MV → Tandem 8 MV struttura nucleare, reazioni
NAPOLI:	V.d.G. 400 kV(d,t) → 14 MeV n Start: SPETTROSCOPIA NUCLEARE (+ FIRENZE)
LNL/PADOVA:	V.d.G. 5.5 MV reazioni p,d, ^3He + struttura (p,n), (p, γ) 400 kV (n puls.) (+ SSC. FMA)

Fig. 2 La fisica dei nuclei in Italia nei primi anni '60.



Fig. 3 Antonio Rostagni, fondatore del Laboratorio di Legnaro (1961) con Claudio Villi, pioniere dello sviluppo della fisica dei nuclei in Italia. Foto dell'inaugurazione del Tandem di Legnaro (1982).

acceleratore elettrostatico da 300 kV, si vede come all'origine dell'ulteriore espansione della fisica nucleare in Italia vi fosse la pressante richiesta di una sufficiente dotazione di macchine acceleratrici per l'avvio consistente e sistematico di indagini mediante l'uso di reazioni nucleari indotte, oltre che da neutroni, da particelle cariche.

Il fatto significativo, inoltre, di questa spinta fu che, contemporaneamente, si stavano sviluppando due filoni della fisica dei nuclei, l'uno di bassa energia nel senso sopra accennato, l'altro nella direzione delle energie intermedie, al di sopra della risonanza gigante e comunque al di sotto della soglia pionica, un ponte già tra la fisica nucleare di bassa e quella di alta energia che avrebbe dato i suoi pregevoli frutti con le ricerche successive al CERN e presso altri Laboratori internazionali. A quest'ultimo si ricollegavano gli studi intrapresi al sincrotrone di Torino (e all'acceleratore lineare di Orsay), sulla fotodisintegrazione di nuclei leggeri e sull'assorbimento fotonico nella regione della risonanza gigante, nonché quelli resi possibili dalla realizzazione a Frascati del Laboratorio Leale con la produzione di fotoni monocromatici da 60–300 MeV mediante l'annichilazione in volo dei positroni del LINAC (R. Scrimaglio, C. Schaerf).

Al primo d'altra parte si collegavano, oltre alle iniziative citate, le attività connesse con un certo numero di acceleratori elettrostatici "casalinghi" in varie sezioni ormai integrate nell'INFN, in particolare a Napoli dove, grazie alla dotazione di un tipico acceleratore da 400 keV generatore di neutroni da 14 MeV (mediante la reazione d, t), iniziarono in Italia le ricerche di spettroscopia nucleare mediante le tecniche avanzate della spettrometria gamma [5]. Tali ricerche nate e sviluppate a Napoli dal gruppo diretto da chi scrive in seguito alla collaborazione con gli Istituti di Fisica Nucleare di Amsterdam e di Orsay e poi di Monaco, in seguito

portate a Firenze, a Padova e a Legnaro (anni 1961-1966) dettero origine a quel patrimonio di attività e risultati di rilievo nello studio della struttura nucleare che portarono in breve tempo i contributi italiani a livello internazionale e costituiscono tuttora un settore essenziale e di grande rilievo delle attività dei Laboratori Nazionali di Legnaro. Il paradigma di tale excursus fu tutta l'attività connessa con lo studio delle strutture nucleari nella regione dell'orbitale $1f_{7/2}$ del modello a "shell" [6] che vide coinvolti i gruppi nucleari già citati in una interessante avventura scientifica a livello internazionale. Ciò è dimostrato, come vedremo, da due importanti conferenze tenutesi in Italia, la prima a Legnaro nell'aprile 1971 e la seconda a Firenze nel giugno 1977. Precursore di questa serie di ricerche (la "saga $f_{7/2}$ ") fu l'importante risultato [7] relativo allo spettro gamma del ^{50}Ti (sequenza di livelli della configurazione a 2 protoni nella shell $1f_{7/2}$) susseguente al decadimento beta dello ^{50}Sc ottenuto dalla reazione $^{50}\text{Ti}(n, p\gamma)$ con neutroni da 14 MeV prodotti appunto tramite l'acceleratore da 400 keV a Napoli (fig. 4)².

² L'evoluzione storica e i successi delle ricerche di Spettroscopia Nucleare, con particolare riguardo alla spettrometria gamma, hanno visto il coinvolgimento, insieme con R.A.R., dei gruppi di Napoli (G. Chilosi, G. B. Vingiani, P. Cuzzocrea, M. Drosi, S. Monaro, C. Rossi-Alvarez, G. Varcaccio, A. Covello, V. Manfredi, G. Sartoris, A. Barone); Trieste (G. Poiani, G. Pauli, R. Giacomich, U. Abbondanno); Firenze (P. Blasi, P. Maurenzig, P. G. Bizzeti, A. M. Bizzeti-Sona, P. Sona, N. Taccetti); Padova-Legnaro (F. Brandolini, M. Morando, C. Signorini, F. Pellegrini, P. Boccaccio, G. Fortuna, F. Gramegna, P. Spolaore, A. Stefanini, L. Vannucci, G. Viesti, E. Tomasi). Le collaborazioni storiche si riferiscono a IKO-Amsterdam (R. K. Girgis, R. Van Lieshout, A. H. Wapstra, G. Wolzak); Orsay (M. Jean, J. Touchard, M. Riou, J. C. Jacmart, C. Ruhla, M. Pautrat); München-Garching (H. Morinaga, W. Kutschera, R. B. Huber); Zagabria (N. Cindro).

2 La fondazione dei Laboratori di Legnaro

Il 27 novembre 1961 veniva inaugurato il laboratorio dell'acceleratore di ioni fondato da Antonio Rostagni inteso come "Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto". Un mese prima era entrato in funzione l'acceleratore elettrostatico Van de Graaf (CN) da 5,5 MV.

Il Laboratorio di Legnaro sorge dunque al momento giusto e si afferma subito come possibile punto di coagulo di molte delle attività di fisica nucleare di bassa energia diffuse in varie università italiane e in alcune delle prime sezioni dell'INFN.

Le motivazioni sono ben espresse nelle "Notizie Generali" che introducono il volumetto a cura di Rostagni e Villi su "I Laboratori di Legnaro" del 9 luglio 1967 [8] qui riportate in parte:

Notizie Generali

Sin dal 1956 l'Istituto di Fisica dell'università di Padova, essendosi ormai consolidata l'attività di ricerca nel campo della fisica delle particelle elementari, decise di intraprendere una nuova attività nel campo della fisica dei nuclei, il quale appariva allora in Italia assai trascurato. In vista di ciò fu presentata al Ministero della Pubblica Istruzione una domanda di assegnazione straordinaria per l'acquisto di un acceleratore Van de Graaf da 3 MeV che in quel tempo era il massimo disponibile in commercio. L'apparecchio venne più tardi incluso nel programma di sviluppo della Scuola di Fisica Nucleare Applicata di Padova nel quadro del Piano Quinquennale del C.N.R.N. (1958). Nel 1959 l'Università di Padova ottenne dal Ministero un'assegnazione di 250 milioni (di Lire, ndr.) per l'acquisto dell'acceleratore sul fondo di 12 miliardi destinato all'incremento delle attrezzature scientifiche. La somma elargita fu utilizzata per l'acquisto di un acceleratore da 5,5 MeV tipo CN della H.V.E.C., da poco entrato in

produzione. Si richiese alla H.V.E.C. un apparecchio "maggiorato", cioè di lunghezza superiore al normale che, senza sensibile aumento di spesa, consente una maggiore elasticità di impiego. Sin dall'inizio si considerò la possibilità che l'acceleratore potesse acquistare interesse anche sul piano nazionale; per questa ragione si rinunciò all'idea di installare l'apparecchio presso l'Istituto di Fisica [...]. Per non compromettere l'estensione futura del laboratorio dell'acceleratore e consentire l'attività di un numero elevato di gruppi di ricerca di Padova e di altre sedi, si decise di costruire il nuovo laboratorio nella località di Legnaro, al km 8400 della provinciale Padova-Pieve di Sacco, su di una tenuta di notevole estensione (ca 100 ettari) che l'Università aveva acquistato per istituire l'Azienda Sperimentale della Facoltà di Agraria. L'Università, oltre a mettere a disposizione il terreno, deliberò un primo stanziamento di 130 milioni di Lire per gli edifici sulle assegnazioni del Piano della Scuola. L'acceleratore entrò in funzione nell'ottobre 1961 e i Laboratori furono inaugurati il 27 novembre 1961; essi presero la denominazione di Centro di Ricerche Nucleari della Regione Veneto [...].

La strategia della missione nazionale dei Laboratori (si noti che da allora la dizione al singolare si tramutò in una versione al plurale in considerazione del fatto che presto Legnaro, come del resto altri Laboratori dell'INFN, avrebbe assunto una caratterizzazione più estesa e dotata di più "facilities") era dunque chiara ed è dimostrata dalle successive mosse di Rostagni. La prima fu quella di raccogliere un gruppo di ricercatori e tecnici dell'Istituto di Fisica (in particolare U. Fasoli, G. Zago, C. Manduchi, F. Pellegrini) convincendoli a dirottare la propria attività verso Legnaro. Determinante fu a questo scopo il richiamo dagli Stati Uniti di Italo Filosofo (v. fig. 5) che fu il vero e

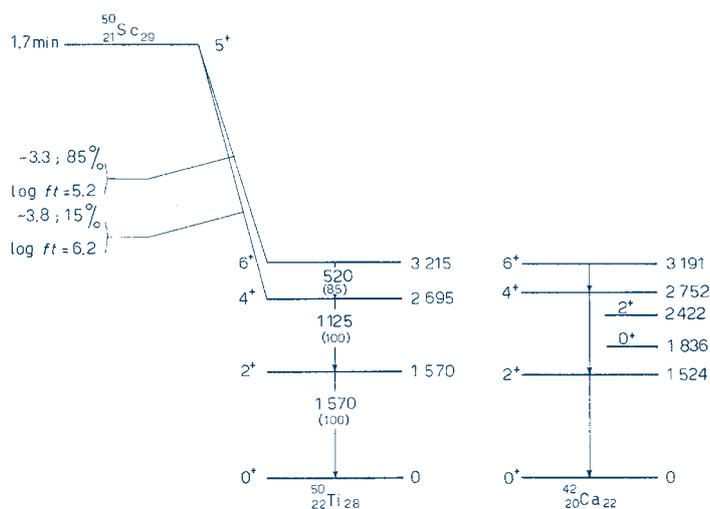


Fig. 4 Spettro γ e livelli nucleari del ^{50}Ti . La sequenza 0^+ , 2^+ , 4^+ , 6^+ della configurazione a 2 protoni nella shell $1f_{7/2}$ è confrontata con quella a 2 neutroni del ^{42}Ca , dimostrando l'indipendenza dalla carica dell'interazione efficace a 2 corpi nella shell $f_{7/2}$ (ref. [7]).



Fig. 5 Italo Filosofo con il primo gruppo di operatori dell'acceleratore CN (1965). Da sinistra a destra: G. P. Bezzon, I. Filosofo, G. Battistello, B. Azzara, G. Manente, G. Gonnella, G. Binelli.

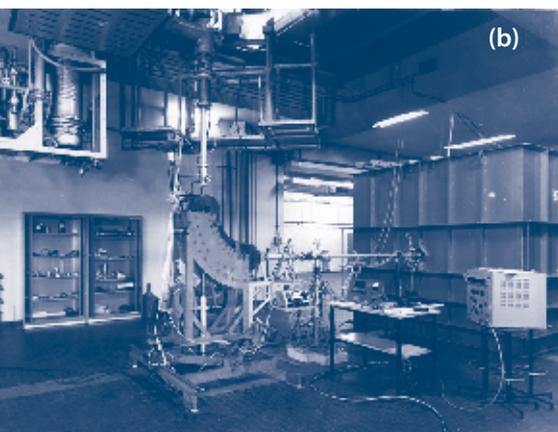
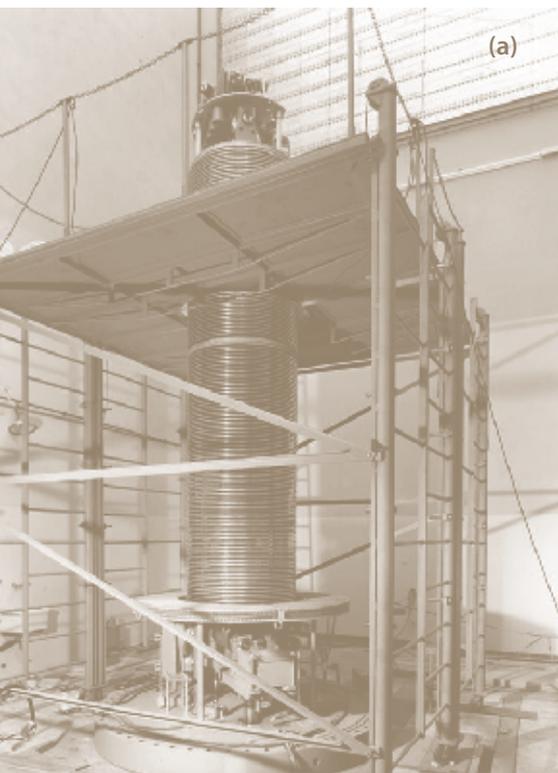


Fig. 6 (a) Installazione della colonna originaria da 5,5 MV del CN. (b) Magnete di analisi e sistema di deviazione del fascio del CN su una prima linea di utilizzazione.

proprio *deus ex machina* per l'avvio delle operazioni e delle ricerche al CN. La seconda fu l'istituzione della cattedra di fisica nucleare chiamando a ricoprirla Claudio Villi (v. fig. 3) che sarebbe stato il più valido fautore dello sviluppo della fisica nucleare in Italia fino a divenire uno dei più aperti e concreti Presidenti dell'INFN proprio negli anni di maggiori trasformazioni ed evoluzioni dell'Istituto.

La terza fu l'apertura dei Laboratori ai gruppi italiani di fisica nucleare, affidandone la direzione ad un "gringo", già peraltro coinvolto, come chi scrive, per arrivare alla loro nazionalizzazione, propugnata insieme con Villi, sotto l'egida dell'INFN. In effetti Rostagni aveva perfettamente compreso l'importanza di equilibrare le parti nello sviluppo della fisica del dopoguerra poiché (cito le sue parole in occasione dell'inaugurazione dell'anno accademico a Padova nel 1950):

"È bene che i fisici ritornino a investigare serenamente le proprietà nucleari con puro spirito scientifico. Dalla più completa conoscenza delle cose non mancheranno di scaturire fruttose applicazioni".

La messa in funzione del CN determinò quindi l'inizio di una fase più organizzata di tali ricerche a livello nazionale.

"Negli anni 1960 e 1961 – proseguono Rostagni e Villi chiarendo quanto sopra rilevato – venne svolta una intensa attività preparatoria al fine di orientare ricercatori e tecnici che antecedentemente avevano svolto attività in altri campi di ricerca, sui problemi e le tecniche della fisica del nucleo. Questa attività si protrasse anche nel 1962, parallelamente alla messa in funzione dell'acceleratore e alla costruzione delle apparecchiature ausiliarie".

In fig. 6a è mostrata l'installazione della colonna originaria e in fig. 6b il sistema di analisi e di deviazione magnetica e la costruzione delle prime linee di fascio (1962) che avrebbero permesso l'inizio dei primi esperimenti fino ad evolversi, con l'installazione

di 7 linee e il potenziamento della tensione al terminale a 7 MV insieme con la possibilità di accelerare ioni più pesanti dell'elio, verso più estese sperimentazioni.

Un importante aspetto della edificazione del Laboratorio di Legnaro, particolarmente curata da Rostagni, fu subito l'approntamento di una officina meccanica che da "officinetta di manutenzione" di 75 m² già presente nel 1961 al momento dell'entrata in funzione del CN, divenne già nel periodo 1962-64 una vera e propria officina di 270 m² attrezzata secondo i criteri più moderni (capo officina storico E. Maccato), sviluppatasi ulteriormente negli anni '70 e '80 e che ha sempre costituito un fiore all'occhiello dei Laboratori.

L'evoluzione della missione dei Laboratori di Legnaro è anch'essa spiegata nel volume citato [8]: "[...] Dal 1962 gruppi dell'Università di Bologna, Napoli, Trieste e del Centro Comunitario di Ispra sono impegnati, in collaborazione con gruppi padovani, nell'esecuzione di programmi di ricerca presso i Laboratori di Legnaro; ad esso si sono aggiunti nel 1966 un gruppo misto di Padova, del CNEN e di Firenze. Le crescenti esigenze della ricerca nucleare e il rapido sviluppo del Laboratorio, attorno al quale si era nel frattempo formato un gruppo di ricercatori e tecnici altamente qualificati, giustificano la proposta, concretata nel 1965 di installare un acceleratore Tandem tipo Emperor nelle immediate adiacenze del Laboratorio stesso; la proposta, accolta dall'INFN, è oggi inclusa nel piano quinquennale di sviluppo 1968-1972". In fig. 7 sono riportate le vedute aeree dei Laboratori di Legnaro nel 1962 e nel 1965.

Appare chiara la strategia a lungo respiro basata sulle tendenze caratterizzanti l'insieme delle ricerche di fisica dei nuclei sviluppatasi più o meno spontaneamente in Italia negli anni '50-'60. L'evoluzione dei Laboratori di Legnaro è quindi già ben delineata e saranno gli anni '70 a dimostrarne

l'efficacia. In effetti, è alla fine degli anni '60, più precisamente nel luglio 1968, che gli sforzi congiunti di Rostagni, Villi e di chi scrive (RAR), con l'aiuto dell'allora Presidente INFN Giorgio Salvini, producono l'integrazione dei Laboratori nell'INFN sancita dalla Convenzione tra INFN e Università di Padova (fig. 8) e firmata da G. Salvini, Presidente INFN, e Guido Ferro, Rettore dell'Università.

Tale strategia è resa esplicita in più documenti tra cui in particolare due, si può dire, "storici". Il primo è la nota INFN, già citata [4] che riporta "L'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969" presentata il 3 marzo 1971 dal Presidente uscente Giorgio Salvini, in cui si affema esplicitamente, nella parte relativa a "Fisica dei nuclei e della materia nucleare": "[...] I Laboratori Nazionali di Legnaro derivano dalla trasformazione del Centro Nucleare per il Veneto dell'Università di Padova. Gli sforzi dell'INFN e dell'Università di Padova per ottenere il riconoscimento del Laboratorio di Legnaro quale Centro Nazionale dell'INFN nel settore della fisica nucleare sono stati coronati da successo il 24 luglio 1968, quando si è firmata la convenzione relativa tra il Rettore dell'Università di Padova e il Presidente dell'INFN [...]. Come ho detto, abbiamo fatto i Laboratori Nazionali di Legnaro con l'animo di chi acquista una casa grande perché sa che verranno molti figli: i ricercatori di fisica dei nuclei attendono con una certa impazienza i nuovi mezzi strumentali, considerati nel nostro Piano Quinquennale".

Il secondo documento storico è la "Relazione sul complesso di attività dell'INFN nel periodo 1970-1971" anch'essa già citata [3] di Villi alla fine del suo mandato presidenziale.

In tale documento, nella parte iniziale dedicata ai "Cenni sull'origine e lo sviluppo dell'INFN sino al 1969" (pag. XXIII) si riporta, tra i fatti più rilevanti: "Istituzione dei Laboratori Nazionali di Legnaro dell'INFN (LNL) in base ad una convenzione stipulata

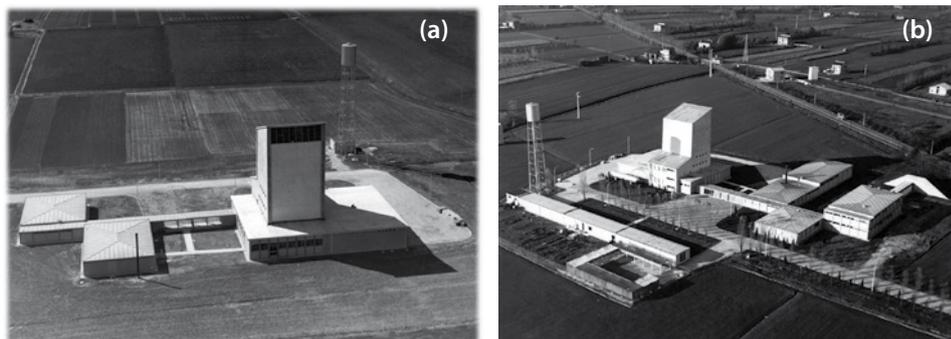


Fig. 7 I laboratori di Legnaro nel 1962 (a) e nel 1965 (b).

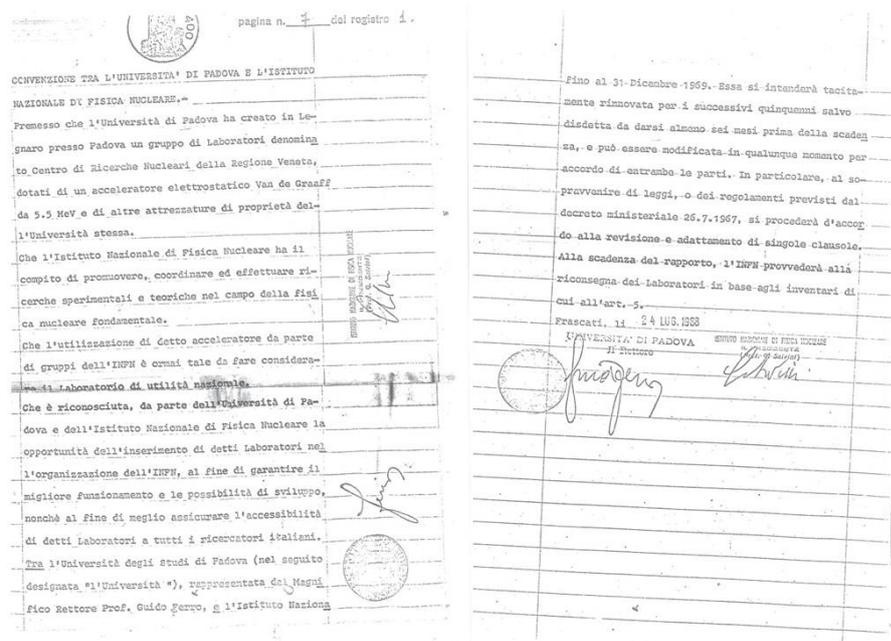


Fig. 8 Pagina iniziale della Convenzione INFN-Università di Padova (26 luglio 1968) che sancisce la trasformazione dei Laboratori di Legnaro in Laboratori Nazionali dell'INFN.



Fig. 9 (a) La colonna del CN potenziata a 7 MV di tensione. (b) Sala sperimentale del CN a 7 MV con le 7 linee di fascio e apparati di misura.

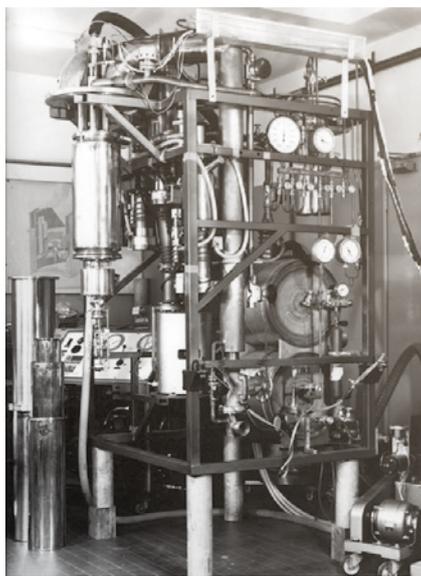


Fig. 10 Criostati e sistema di trasmissione per misure di diffusione di neutroni da bersagli nucleari (^{165}Ho) polarizzati (U. Fasoli, G. Zago, G. Galeazzi, D. Toniolo).

con l'Università di Padova il 24 luglio 1968, che affidava all'INFN l'esercizio dei Laboratori stessi, demandando all'Istituto la responsabilità della programmazione e dello svolgimento delle attività scientifica (primo direttore dei LNL è stato il Prof. Renato A. Ricci) [...] – Predisposizione del Piano Quinquennale 1970-1974 nel quale fu ribadita l'esigenza di provvedere all'avviamento delle iniziative nel campo della Fisica dei Nuclei, già indicato nel Precedente Piano Quinquennale".

È interessante segnalare qui la decisione di superare la posizione "subalterna" della fisica dei nuclei con l'inserimento a tutto campo delle grandi iniziative, le cosiddette "Torri della fisica nucleare" già preventivate nel Piano precedente (1965-1969) preparato da una apposita commissione presieduta da Giorgio Salvini a seguito di una famosa riunione, organizzata dalla Società Italiana di Fisica a Bologna nel maggio 1964 (Presidente G. Bernardini).

Gli ultimi anni '60 costituiscono quindi la fase di promozione in termini organizzativi e operativi della fisica dei nuclei atta a superare le difficoltà accennate, in particolare i vincoli di una posizione non solo ancillare ma vincolata da situazioni contingenti. In effetti, come ricorda ancora Villi: "Per fronteggiare [...] questa situazione e favorire, nei limiti del possibile, lo sviluppo della fisica dei nuclei, il Consiglio Direttivo dell'INFN promosse la stipulazione di un contratto di associazione Euratom/CNEN/INFN per il finanziamento di tale attività. Il contratto, stipulato nel dicembre 1961 [giusto al momento in cui veniva creato il Laboratorio di Legnaro, n.d.r.] e rinnovato poi sino al dicembre 1967, nacque come un espediente per superare difficoltà finanziarie ma non risolse alcun problema e ne creò degli altri". I problemi erano ovviamente dovuti da una parte al disagio dei fisici nucleari per i limiti imposti alla ricerca fondamentale e dall'altra alla posizione marginale che essi venivano oggettivamente

ad assumere in ambito INFN. Con la scadenza del Contratto alla fine del 1967 e la partenza del Piano 1974-1978 presero corpo le iniziative di fisica di nuclei con il progetto di installazione presso i Laboratori di Legnaro o alternativamente presso i Laboratori di Frascati (siamo in un periodo di crisi di questi Laboratori coincidente con la battaglia per l'autonomia dell'INFN dal CNEN e per il trasferimento dei LNF all'INFN, conclusosi nel 1976-77), che il C.D. avrebbe dovuto assumere entro il 31 dicembre 1967. La decisione fu presa, non senza qualche battaglia di chiarimento di cui anche chi scrive fu protagonista, finalmente per Legnaro.

A Legnaro agli inizi degli anni '70 si erano ulteriormente sviluppate le strutture, potenziando il CN la cui tensione venne portata a 7 MV (fig. 9a) insieme con la possibilità di accelerare ioni leggeri (C, Ne, O) e installate apparecchiature avanzate presso le 7 linee di fascio (fig. 9b) per esperimenti di spettroscopia γ sotto fascio, correlazioni angolari, diffusione elastica e inelastica di particelle cariche con camere di scattering appropriate oltre all'installazione di un ulteriore acceleratore da 400 keV con fascio pulsato costruito a Padova per misure di diffusione di neutroni e in esperimenti di polarizzazione (fig. 10), di un piccolo acceleratore da 150 kV, nonché di una struttura sottocritica per misure di parametri nucleari e per scopi didattici. (Tali apparecchiature sono state dismesse o trasferite negli anni '80.)

L'istituzione dei Laboratori Nazionali, che figura tra l'altro come primo punto del rapporto Salvini al C.D. dell'INFN del marzo 1971 [4] sancisce definitivamente l'ingresso a pieno titolo della comunità italiana dei fisici dei nuclei nell'INFN e apre una nuova fase nell'acquisizione di mezzi e strumenti per il suo successivo importante sviluppo. In fig. 11 una vista dei Laboratori negli anni '70. Ciò fu reso possibile anche grazie al supporto e alla competenza di uno staff ingegneristico e tecnico di prim'ordine affiancato

a I. Filosofo, tra cui P. Kusstatscher, F. Cervellera, B. Tiveron, G. Galeazzi, I. Scotoni, E. Maccato, G. P. Bezzon, L. Donà e tutti i componenti del gruppo operatori, dell'officina meccanica ed elettronica.

Un passo importante ed estremamente significativo, in questa fase, è l'affermarsi in modo coerente alla strategia di base di Rostagni, sostenuta da Villi e da chi scrive, di una estensione delle attività di fisica applicata, libere da vincoli esterni e limitativi (cfr. contratto Euratom), volta ad una concezione più squisitamente interdisciplinare. Ciò si ottenne favorendo lo sviluppo di fronti di ricerca quali la fisica della materia, la biomedicina e la fisica dell'ambiente con l'utilizzazione di fasci ionici. Protagonisti della promozione di questa ricerche a Legnaro sono stati i gruppi diretti rispettivamente da P. Mazzoldi, G. Moschini e P. Mittner [9]. Il fatto decisivo fu l'installazione di un nuovo acceleratore elettrostatico da 2 MV, l'AN 2000 (H.V.E.C.) (fig. 12) acquistato su fondi dell'Università di Padova e interamente dedicato al settore interdisciplinare, arricchendo tale patrimonio con un Impiantatore ionico donato dalla IBM, che potenziava tale attività prima svolta con un piccolo acceleratore casalingo messo a punto da G. Zago e P. Kusstatscher. Fino ad allora esperimenti di backscattering e channeling oltre che analisi elementale (PIXE: Proton Induced X-ray Emission) venivano effettuati in parassitaggio con fasci del CN. Tale attività si è ulteriormente sviluppata anche con l'uso intensivo dei fasci del CN, sempre meno utilizzato per la fisica nucleare, e, per particolari misure, dei fasci di ioni pesanti del Tandem. Gli apparati e le tecniche disponibili (PIXE, microbeam) hanno assicurato ormai un livello internazionale significativo in questo importante settore delle ricerche interdisciplinari dalla scienza dei materiali alla radiobiologia, al danneggiamento da radiazioni, ai beni culturali, alla fisica ambientale.

3 L'Acceleratore TANDEM e la seconda fase di sviluppo

La pietra miliare che segna l'inizio di questa fase è l'avvento dell'acceleratore Tandem per ioni pesanti che, dalla fase propositiva e progettuale (1965-1975), passa alla fase realizzativa (1975-1981) e verrà inaugurato ufficialmente il 23 gennaio 1982.

Gli importanti risultati ottenuti a Legnaro, nello studio delle strutture nucleari mediante la tecnica della spettroscopia γ sotto fascio [5] dai gruppi di Padova, Napoli e Firenze negli anni '70 avevano portato i Laboratori ad una rilevanza internazionale dimostrata dalle due conferenze di cui la prima, unica nel suo genere, a Legnaro nel 1971, specificatamente dedicata a "Structure of $1f_{7/2}$ nuclei", [10] l'altra, organizzata dalla Divisione nucleare della European Physical Society, a Firenze nel 1977 su "Physics of medium-light nuclei" [11] nelle quali i contributi italiani furono di significativo rilievo. Essi segnarono la chiara motivazione scientifica a giustificazione della proposta di acquisizione della macchina che doveva costituire la prima "facility" in Italia per la fisica degli ioni pesanti. Tali motivazioni erano già chiaramente espresse nei piani di sviluppo dei LNL ed esplicitate nella prima proposta del 1965, preparata da un gruppo di studio promosso dall'INFN (I. Filosofo, P. Kusstatscher, G. Poiani, R. A. Ricci, C. Villi), con la consulenza di A. Bromley dell'Università di Yale, costituito dall'INFN, che prefigurava ancora un Tandem MP da 10 MV. Il progetto definitivo per un Tandem Emperor da 16 MV, dettagliato in tutte le sue parti scientifiche, tecniche e finanziarie, venne presentato nel 1974 da un secondo gruppo nominato dall'INFN e formato da I. Filosofo, P. Kusstatscher, M. Morando, R. A. Ricci, C. Signorini e V. Vanzani, [12] e posto sotto la mia direzione. Da allora inizia l'iter, durato fino al 1981, con le sue vicissitudini enfatizzate da quella che chiamammo la "Caccia alla balena bianca". Da ciò il nome "Moby Dick" con

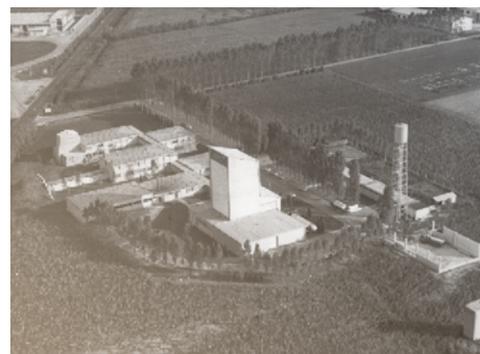


Fig. 11 Vista dei Laboratori Nazionali di Legnaro; anni '70.

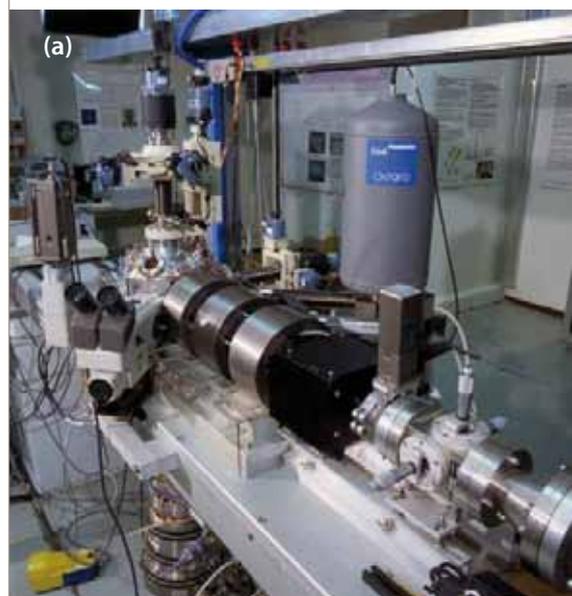


Fig. 12 (a) L'acceleratore AN2000. (b) La sala sperimentale con apparati per ricerche interdisciplinari (P. Mazzoldi, G. Moschini, R. Cherubini, P. Colautti, G. Della Mea, V. Rigato, G. Egeni, e V. Rudello).



Fig. 13 I. Filosofo e P. Kusstatscher con R. A. Ricci a Daresbury davanti alla maquette dell'acceleratore Pelletron verticale da 20 MV (1974).



Fig. 14 Il Laboratorio Tandem dei LNL.



Fig. 15 Cattura della "Balena Bianca". Legnaro 1981. Da sinistra R. A. Ricci, F. Cervellera, P. Spolaore, G. Battistello, C. Signorini, L. Donà, W. Scherr.



Fig. 16 L'intera pagina del Tempo del 23/1/1982 sull'inaugurazione del Tandem di Legnaro.



Fig. 17 Elogio e contemporaneo attacco all'avamposto della ricerca.

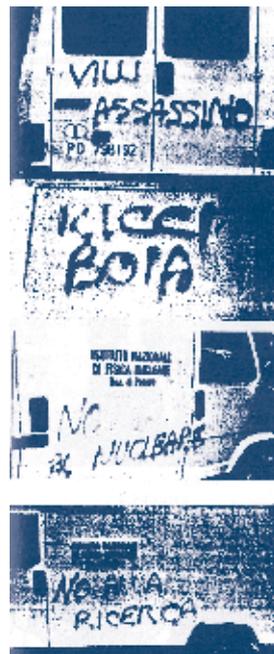


Fig. 18. Il pullmino del Dipartimento di Fisica di Padova opportunamente "dipinto" (aprile 1987).

cui l'acceleratore, provvisto di una "tank" veramente a forma di balena, venne battezzato.

La mobilitazione dei ricercatori, dei tecnici e di tutto il personale dei laboratori attorno al Gruppo Tandem fu certamente la più importante carta vincente per il successo dell'impresa. La fig. 13 che si riferisce ad una visita al Laboratorio di Daresbury (Regno Unito) per confrontare le caratteristiche degli acceleratori Tandem in fase di installazione presso alcuni grandi laboratori (Daresbury appunto e Yale, USA) è un omaggio al ricordo di due dei protagonisti dell'impresa di Legnaro: Italo Filosofo e Paolo Kusstatscher.

La progettazione dell'edificio (fig. 14) e la messa a punto di tutti gli impianti furono opera di colleghi della Facoltà di Ingegneria di Padova tra cui alcuni purtroppo perirono in quel periodo in un tragico incidente aereo³.

L'arpionamento finale di Moby Dick avvenne nel 1981 (fig. 15) con vari brindisi e urrah!

E ufficialmente con il test di accettazione con fasci di 32S e 132I pubblicato, a fase di routine avviata, nel 1984 [13].

L'inaugurazione vera e propria avvenne il 23 gennaio 1982. Ai 50 anni del Laboratorio CN e ai 40 dell'AN2000 si aggiungono quindi i 30 del Laboratorio Tandem, con una scadenza decennale abbastanza significativa. Si trattò di una cerimonia di notevole richiamo organizzata, dopo un tentativo "locale" nel dicembre 1981, a livello nazionale con la partecipazione dell'allora Presidente dell'INFN, Antonino Zichichi, dei Ministri G. Tesini e V. Scotti, del Rettore L. Merigliano (al quale si deve un significativo supporto dell'Università

³ Il gruppo della Facoltà di Ingegneria coinvolto nel Progetto Tandem era costituito da E. Bandelloni, R. Deaglio, G. Trapanese, A. Paolucci e L. Fellin. I primi tre purtroppo furono vittime di un tragico incidente aereo proprio in corso d'opera.

di Padova) altre autorità e rappresentanti sindacali. Il significato dell'impresa fu riportato con grande rilievo dalla stampa (v. fig. 16).

Poichè tuttavia le cose non procedono sempre in modo idilliaco, in particolare in un Paese come il nostro in cui si fa ancora oggi molta confusione sul significato della ricerca e sulla vera immagine della scienza, ecco che, sulla stampa (locale) oltre all'enfasi sull'impresa Tandem appaiono alcuni segni di contestazione (v. fig. 17) contro una presunta "tecnologia micidiale".

Per la storia sarà opportuno ricordare che sono quelli gli anni dei colpi di coda di un certo tipo di contestazione approdato al terrorismo (a Padova lo si è vissuto per intero) il cui brodo di cultura non era alieno da forme di oscurantismo antiscientifico di matrice intellettualistica. Il che è dimostrato da palesi manifestazioni a seguire tra cui quella degli attacchi, in sede universitaria, a protagonisti delle ricerche "nucleari". Vedasi, in fig. 18, l'estrinsecazione di tali "ideologie" nel cortile del Dipartimento di Fisica di Padova; siamo nell'aprile 1987 ad un anno dal disastro di Chernobyl. Oggi invece si parlerebbe di "Stregoni dell'atomo" e ne abbiamo avuto un esempio recentemente a Genova.

Ciò ovviamente lascia inalterata la soddisfazione per un evento il cui significato trascende l'installazione del primo acceleratore per ioni pesanti in Italia ma, nel contesto "storico" che stiamo raccontando, indica un altro pilastro posto a dare il via ad una nuova fase della fisica dei nuclei in Italia. Da Moby Dick (fig. 19), di cui si mostrano il sistema di trasporto di carica Laddertron (fig. 20), e una delle due sale sperimentali (fig. 21), si diparte tutta una serie di attività in sede nazionale ed internazionale con una fioritura di progetti, Laboratori, attrezzature, facilities, che hanno portato la fisica dei nuclei italiana non solo ad alti livelli competitivi ma a dotarsi di centri di



Fig. 19 L'acceleratore Tandem XTU installato e funzionante; Legnaro 1983.



Fig. 20 Particolare del Laddertron (cinghia metallica di trasporto della carica).



Fig. 21 Una delle sale sperimentali del Laboratorio Tandem con vari sistemi di rivelazione.

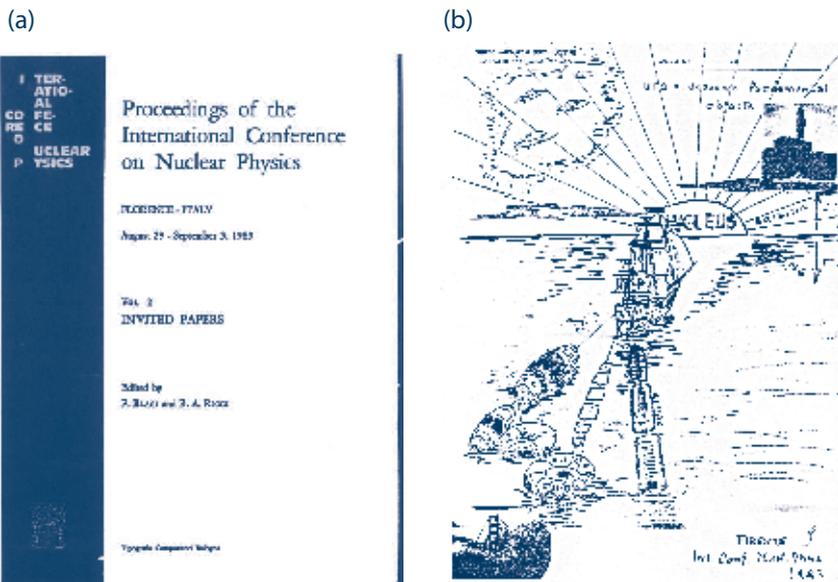


Fig. 22 (a) Frontespizio degli Atti della "International Conference on Nuclear Physics" Firenze 1983. (b) Schema dell'avvento delle varie facilities di fisica nucleare trasportate verso l'alba della ricerca di nuove conoscenze (R. A. Ricci) (da Berkeley 1980 a Firenze 1983).

attrazione per grandi collaborazioni internazionali.

Il punto di partenza è segnato dalla grande Conferenza Internazionale di Fisica Nucleare tenutasi non a caso in Italia, a Firenze, nel 1983 (fig. 22).

A Legnaro la fase Tandem trovava il suo apice con significativi risultati nel campo della spettroscopia e della dinamica nucleare in particolare sullo studio degli stati ad alto spin e con configurazioni di protoni e neutroni lontane dalle regioni classiche del modello a shell (nuclei in condizioni estreme).

È questa la fase in cui, conclusa la mia direzione, dopo 11 anni, nel 1979 e portato a termine il Progetto Tandem, gli anni '80 vedono un consolidamento del ruolo nazionale dei Laboratori sotto la direzione prima di Paolo Blasi (1979-1982) e poi di Cosimo Signorini (1983-1986) ai quali si deve la completa realizzazione del Laboratorio Tandem ed una continua evoluzione verso una sempre più estesa utilizzazione dei Laboratori non solo a livello nazionale ma anche a livello internazionale [14].

4 Gli ulteriori sviluppi e le basi per il futuro

Lo sviluppo impressionante dei LNL che sfocerà poi nell'installazione dell'acceleratore lineare a cavità superconduttrici ALPI (Acceleratore Lineare per Ioni Pesanti) (fig. 23) interamente costruito a Legnaro (fine anni '80-inizio anni '90) si accompagna alla definitiva consacrazione dei Laboratori Nazionali del Sud a Catania (v. nota ¹), istituiti dall'INFN nel 1976, con l'avvento di un altro Acceleratore Tandem Van de Graaf da 15 MV seguito dall'installazione nella stessa sede del Ciclotrone Superconduttore (SC) K800 costruito da F. Resmini a Milano ed entrato in operazione ai LNS nel 1996. L'ingresso dei due Laboratori Nazionali dell'INFN, destinati con successo allo sviluppo della fisica degli ioni pesanti



Fig. 23 (a) L'acceleratore ALPI a cavità superconduttrici. (b) Elemento QWR (risuonatore a $\frac{1}{4}$ d'onda) di ALPI (v. testo).

in Italia [15], nel novero delle "Large Scale Facilities" sancito a livello europeo alla fine degli anni '90, costituisce una ulteriore dimostrazione della lungimiranza dei protagonisti degli anni '60-'70.

Conclusa la fase "storica", tale sviluppo si accompagnava all'evoluzione delle tecniche di rivelazione, oltre che della tecnologia delle macchine e dei metodi di analisi dei dati. Nel primo caso si assisteva alla terza rivoluzione nel campo della spettrometria gamma, passando dalla prima con i rivelatori a scintillazione (i contatori a ioduro di sodio NaI(Tl) attivati al tallio) alla seconda con i rivelatori al germanio-litio Ge(Li), e infine con l'avvento dei "γ-arrays", sistemi complessi di contatori assemblati in coincidenza con grande guadagno in efficienza e risoluzione che hanno realmente aperto una nuova era nella spettroscopia nucleare. A Legnaro questa strada è stata intrapresa in modo continuo e sistematico a cominciare dallo Spettrometro GASP (responsabile C. Rossi Alvarez) il γ-array per spettroscopia nucleare (1992-2012) che iniziò la filiera di tali spettrometri nell'ambito di grandi collaborazioni internazionali (GSI, Strasburgo, GANIL) con apparati quali EUROBALL (rivelatore Europeo) che ha soggiornato a Legnaro dal 1997 al 2003 e più recentemente AGATA (Advanced Gamma Tracking Array) con importanti risultati nello studio delle strutture nucleari lontane dalla valle di stabilità [16] (fig. 24). Parallelamente si sono sviluppati avanzati spettrometri per la misura di particelle cariche e ioni pesanti a partire dal primo spettrometro di massa RSM (Recoil Mass Spectrometer, gruppo C. Signorini, P. Spolaore) (fig. 25), spesso in accoppiamento con i rivelatori gamma per misure in coincidenza, quali ad esempio PRISMA-CLARA e sistemi ad alta efficienza per la dinamica e la termodinamica delle reazioni di ioni pesanti (un esempio GARFIELD, gruppo F. Gramegna, in fig. 26).

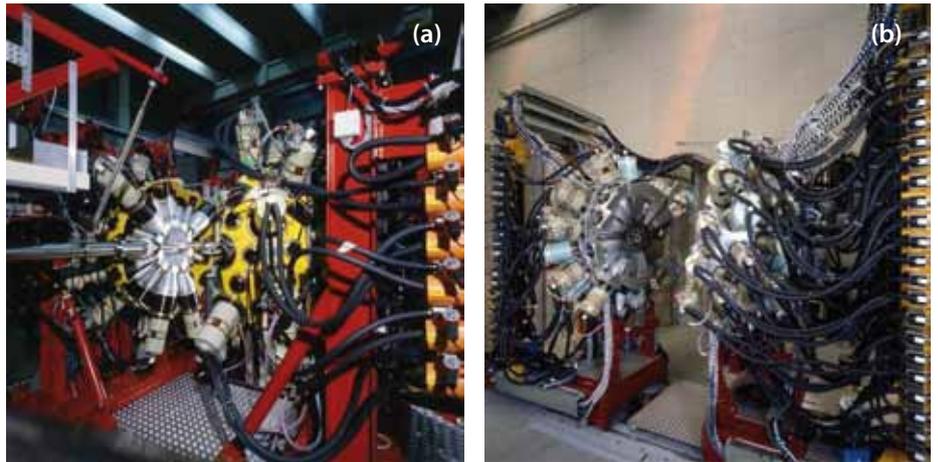


Fig. 24 (a) Particolari dei Gamma-Arrays: GASP e (b) EUROBALL.



Fig. 25 Il Recoil Mass Spectrometer (RMS).



Fig. 26 GARFIELD (General Array for Fragment Identification and Emission of Light particle Dissipative collisions).



Fig. 27 Vista aerea dei LNL (2010).

Nel secondo caso I LNL si sono distinti, a partire dagli anni '90, sotto la direzione di P. Dalpiaz (1986-1992) e di M. Nigro (1992-1998) in un notevole sforzo di adeguamento tecnologico dimostrato in particolare, partendo da un'idea già lanciata nei laboratori, dalla promozione ed esecuzione del progetto del LINAC a cavità superconduttrici. Dalla costruzione e messa a punto di cavità a radiofrequenza, tra cui la RFQ per l'iniezione di ioni pesanti all'SPS del CERN in cui i Laboratori si erano specializzati [17], si passò alle tecnologie superconduttrici e il progetto ALPI andò in porto con tecniche avanzate (cavità superconduttrici a $\frac{1}{4}$ d'onda al Pb/Nb, v. fig. 23b) che hanno portato Legnaro ad essere un centro di eccellenza nel settore con ampi risvolti anche in campo applicativo e industriale [18]. Significativa la realizzazione di un "Laboratorio di Superconduttività e Trattamento di Superfici" e per ulteriori impieghi in altri campi di ricerca dell'INFN ed altri enti interessati (gruppo V. Palmieri). Un esempio è dato, da una parte, dall'installazione di un rivelatore ultrapulito da contaminanti radioattivi al Gran Sasso per esperimenti di fisica del neutrino e, dall'altra, dall'istituzione di un Master in trattamenti di superficie per l'industria in collaborazione con l'INFM e Confindustria Veneto. Tale tecnologia, sviluppata con il concorso di una Divisione Acceleratori e una Divisione Tecnica di alto livello, ha permesso inoltre la costruzione del nuovo iniettore PIAVE (resp. A. Lombardi), con quadrupoli a radiofrequenza superconduttrici (G. Bisoffi, A. Facco, A. Pisent, A. M. Porcellato...) e sorgente ionica ECR (M. Cavenago) alternativo al Tandem. Sotto la direzione di G. Fortuna (1998-2004) il completamento di queste macchine fu realizzato, preparando il terreno all'ulteriore progettazione per il futuro compendiate nella "speranza" riposta in SPES (Selective Production of Exotic Species), ossia il progetto di un acceleratore per fasci di ioni radioattivi (prodotti per fissione indotta da protoni accelerati da un ciclotrone, in bersagli di UC_x (carburi di uranio) e ri-accelerati attraverso il complesso PIAVE-ALPI). Ciò permetterà di inserirsi nell'attuale frontiera dello studio delle specie nucleari esotiche, lontane cioè dalla regione dei nuclei vicino alla stabilità e anomale rispetto alle descrizioni classiche dei modelli nucleari. Tale compito è stato rilevato da G. Puglierin (direttore dal 2004 al 2009) al quale si deve tra l'altro un forte sviluppo delle installazioni criogeniche con aumento della potenza refrigerante del liquefattore di ALPI (R. Pengo) e quindi delle prestazioni dei fasci dell'acceleratore, nonché l'avvio delle attività in programmi energetici (fusione nucleare); e, attualmente, da G. Fiorentini, che sta portando a compimento gli sforzi per la realizzazione del programma SPES con l'avvio dell'ordine del ciclotrone per protoni (30–70 MeV) per la produzione di fasci radioattivi e della costruzione dell'edificio [18]. Nel contempo, alla visione intensiva che indica la direzione principale di marcia, i Laboratori hanno tenuto fede anche alla visione estensiva, allargando strutture e interessi non solo verso le attività interdisciplinari e tecnologiche ma altresì ad altri campi di ricerca quali la fisica nucleare di alta energia al CERN con la partecipazione (P. Boccaccio, U. Gastaldi, M. Lombardi, R. A. Ricci, L. Vannucci) alla Collaborazione OBELIX (fisica nucleare con antiprotoni e antineutroni) e oggi ALICE (ioni pesanti relativistici e ricerca del QGP,

il plasma di quark e gluoni, nella materia nucleare). A ciò aggiungasi il Laboratorio Alte Energie (LAE) provvisto di ampie aree attrezzate per l'assemblaggio di rivelatori di grandi dimensioni per esperimenti a LHC del CERN, e l'installazione dell'antenna supercriogenica AURIGA per lo studio delle onde gravitazionali. E, infine, la partecipazione dei LNL alle ricerche sulla fusione nucleare (ITER)) in collaborazione con l'RFX del CNR di Padova, con la costruzione di una cavità RFQ prevista per un acceleratore lineare, costruito dall'INFN, per test di materiali d'impiego nei reattori nucleari a fusione, nonché la costituzione di un gruppo di lavoro inserito nel programma TRASCO (collaborazione ENEA-INFN) per la progettazione di un acceleratore componente un sistema ADS ("Accelerator Driven System")⁴ per la trasmutazione di scorie radioattive.

Nel terzo caso basti osservare come, dalle prime analisi con analizzatori mono e multicanali e uscita dei dati in striscie cartacee, si sia passati all'uso dei più sofisticati sistemi computerizzati e connessioni di rete. A Legnaro un primo passo fu realizzato nella fase Tandem con un sistema di acquisizione dati basato su computer PDP 11/34 connessi con un VAX 11/780 per l'acquisizione dati. Da allora il progresso è stato enorme e dal 2001 ad esempio i LNL sono dotati di una "fattoria di calcolo" che fa parte di un'ampia infrastruttura GRID dell'INFN per le necessità di calcolo degli attuali esperimenti contribuendo allo sviluppo del sistema TIER-2 per gli esperimenti CMS e ALICE al CERN⁵.

Quanto brevemente citato ha trovato in questo periodo una specie di consacrazione con una cerimonia dedicata al 50° di Legnaro (Legnaro, 8 giugno) affiancata da due importanti conferenze internazionali riguardanti la Fisica Nucleare con Fasci Radioattivi (EURORIB 12) [19] e le Ricerche Interdisciplinari con Fasci Ionici (ION BEAMS 12) [20].

Tutto ciò oggi costituisce la base per ulteriori sviluppi, nella speranza di una possibilità di percezione adeguata, sia pubblica che istituzionale, dell'importanza della ricerca scientifica, nel nostro Paese. Essa poggia sui pilastri a suo tempo costruiti e consolidati. Ma dietro i pilastri ci sono gli uomini. Alcuni sono stati qui esplicitamente nominati, molti altri lo meriterebbero; a Legnaro, di cui la [fig. 27](#) mostra l'attuale vista generale, si sono avvicendati, negli anni della fase storica, i nomi che sono riportati nel riquadro a lato.

Per essi vale quanto, a conclusione dell'impresa Tandem nel 1982, io dissi alla cerimonia di inaugurazione:

"[...] I risultati che oggi si possono toccare con mano, sono la somma di 3 termini essenziali: 1) il lavoro, la fatica, la capacità professionale e anche la rabbia del personale dei Laboratori; 2) la lungimiranza e l'intelligenza strategica dei nostri predecessori e precursori nonché la capacità di programmazione dell'INFN; 3) la convinzione, la tenacia, perfino la caparbia e la collera di chi ha sempre creduto che costruire qualcosa, anche a costo di incomprensioni e amarezze, valga sempre di più di mille discussioni accademiche e sterili".

⁴ Com'è noto il sistema ADS è stato proposto da C. Rubbia.

⁵ I sistemi di calcolo e analisi dei LNL sono stati coordinati, nel corso degli anni, da M. Morando, P. Maurenzig e G. Maron.

I pilastri e gli uomini

Bruno Azzara, Luigi Badan,
 Claudio Baiocchi, Giorgio Bassato,
 Gennaro Battistello,
 Giuseppe Battistello, Livio Bertazzo,
 Renato Bertoli, Gianpietro Bezzon,
 Giovanni Binelle, Pasquale Boccaccio,
 Elisa Bordignon, Fedora Borgatello,
 Roberto Bortolami, Rosy Boscaro,
 Carlo Bressanini, Giuliano Bressanini,
 Ettore Brezzi, Paolo Buso, Luciano Calore,
 Lia Capotorto-Zanon, Mario Carena,
 Ivone Carraro, Federico Cervellera,
 Roberto Cherubini, Paolo Colautti,
 Paolo Conconi, Luciano Costa,
 Angelo Dainese, Ferruccio Demanins,
 Mario DePoli, Gastone Donà,
 Libero Donà, Giampiero Egeni,
 Gabriella Eramo, Giacomo Eramo,
 Umberto Fasoli, Italo Filosofo,
 Agostino Fois, Graziano Fortuna,
 Leopoldo Furiato, Giuseppe Galeazzi,
 Giannino Gonella, Fabiana Gramegna,
 Paolo Kusstatcher, Franco Lazzaro,
 Mariano Lombardi, Elio Maccato,
 Claudio Manduchi, Giancarlo Nardelli,
 Giuseppe Manente, Celestino Marcomini,
 Salvino Marigo, Gaetano Maron,
 Gildo Morandin, Maurizio Morando,
 Giuliano Moschini, Ivo Motti,
 Giuseppe Muraro, Mario Negrato,
 Sergio Nonnato, Renato Pagnin,
 Cesare Pegoraro, Ruggero Pengo,
 Fausto Pellegrini, Antonio Pietschman,
 Carla Piva, Silvano Piva,
 Anna Maria Porcellato, Renato Preciso,
 Gianfranco Prete, Armando Rinaldi,
 Francesca Rossetto, Verardo Rudello,
 Maria Teresa Russo-Manduchi,
 Fabio Scarpa, Paolo Schiavon,
 Giovanni Sgarabottolo, Iginio Scotoni,
 Cosimo Signorini, Paola Spolaore,
 Marina Stefani, Alberto Stefanini,
 Getullio Talpo, Luigi Tiso, Bruno Tiveron,
 Egle Tomasi, Domenico Toniolo, Giorgio
 Torielli, Luigi Vannucci, Vittorio Vanzani,
 Gabriele Vedovato, Michela Venco,
 Giuseppe Viesti, Alessandro Zanon,
 Dimitri Zafropoulos, Guido Zago,
 Giorgio Zannoni, Chiara Zecchin,
 Elia Zecchin, Luigi Ziomi.

Ringraziamenti

Ringrazio il Direttore dei LNL, Gianni Fiorentini, per la possibilità concessami per la raccolta del materiale necessario presso i Laboratori e la sollecitudine mostratami nel corso di questo lavoro e della cerimonia per il 50° anniversario dei Laboratori di Legnaro; gli ex-direttori Piero Dalpiaz, Massimo Nigro e Gabriele Puglierin, oltre a Paolo Mazzoldi e Giuliano Moschini per le preziose informazioni fornitemi, Luigi Vannucci e Paola Spolaore per l'assistenza e l'aiuto nella raccolta dati e nella preparazione delle figure, Fabiana Gramegna, Gaetano Maron, Valentino Rigato, Roberto Cherubini, per la preziosa collaborazione in tale contesto, Alessandro Pascolini e Giulio Peruzzi per alcuni riferimenti storici, i servizi di documentazione e di segreteria dei Laboratori e, last but not least, la vecchia guardia e il personale dei Laboratori che mi hanno fornito, oltre ai preziosi personali ricordi, un'ampia documentazione fotografica.

Un grazie anche alla SIF e al Presidente Luisa Cifarelli per aver accolto con favore questo lavoro per il Nuovo Saggiatore, e Angela Oleandri e Cristina Calzolari per la paziente collaborazione nella sua redazione.

Bibliografia

- [1] E. Amaldi, "Gli anni della ricostruzione", *G. Fis.*, 20 (1979) 186.
- [2] V. G. Tagliaferri, "Le scienze esatte all'Università di Milano", in "Storia di Milano", vol. 18 (Istituto dell'Enciclopedia Italiana, Roma) 1995, p. 659.
- [3] C. Villi, "La fisica nucleare fondamentale in Italia", Relazione sulle attività INFN dal 1970 al 1975, al XXX anniversario INFN, Roma 1975 (CLEUP Padova) 1976. V. anche R. A. Ricci "La fisica di nuclei in Italia dopo la guerra. Un'eredità scientifica e pacifica" in "La crisi energetica nel mondo e in Italia. Da Enrico Fermi ed Edoardo Amaldi a oggi", a cura di C. Bernardini e G. Salvini (Ed. Dedalo, Bari) 2007, p. 63.
- [4] G. Salvini: "L'attività di ricerca dell'INFN dal 1966 al 1969", Relazione del 3 marzo 1971 al Consiglio Direttivo INFN.
- [5] Cfr. R. A. Ricci, "Phenomenological Nuclear Spectroscopy", *Proceedings of the International School of Physics "Enrico Fermi"*, Course CLXIX, a cura di A. Covello, F. Iachello, R. A. Ricci e G. Maino (IOS Press, Amsterdam and SIF, Bologna) 2008 p. 29; v. anche: R. A. Ricci, "Electrostatic accelerators in the development of nuclear physics in Italy", *Nucl. Instrum. Methods A*, 328 (1993) 355.
- [6] R. A. Ricci and P. Maurenzig: "The $1f_{7/2}$ Problem in Nuclear Spectroscopy", *Riv. Nuovo Cimento*, 1 (1969) 291.
- [7] G. Chilosi, P. Cuzzocrea, G. B. Vingiani, R. A. Ricci, H. Morinaga: "Lower excited states of ^{50}Tl ", *Il Nuovo Cimento*, 27 (1963) 86.
- [8] A. Rostagni e C. Villi: "I Laboratori di Legnaro" (Università di Padova-Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Padova) 1967. V. anche A. Rostagni, P. Kusstatscher, A. Paolucci "I Laboratori dell'Acceleratore da 5,5 MeV dell'Università di Padova", *Notiziario CNEN* 12, 1962.
- [9] P. Mazzoldi e G. Moschini (a cura di) "Three-day in depth-review on nuclear accelerator impact in the interdisciplinary field", *Proc. Int. Symp. LNL*, (Laboratori Nazionali di Legnaro) 1984.
- [10] R. A. Ricci (a cura di) "The structure of $1f_{7/2}$ nuclei", *Proc. Top. Conf.*, Legnaro 1971, (Ed. Compositori, Bologna) 1971; Atti dedicati alla memoria di Guido Chilosi protagonista di queste ricerche in quegli anni e scomparso poco dopo la Conferenza in un incidente di montagna.
- [11] P. Blasi e R. A. Ricci (a cura di) "Physics of medium-light nuclei", *Proc. Top. Conf. Firenze 1977*, (Ed. Compositori, Bologna) 1978.
- [12] "Proposta di installazione di un acceleratore Tandem presso i Laboratori Nazionali di Legnaro" INFN, Legnaro 1974; v. anche R. A. Ricci and C. Signorini: "The XTU Tandem of the Laboratori Nazionali di Legnaro", *Nucl. Instrum. Methods* 146 (1977) 93.
- [13] C. Signorini, G. Bezzon, F. Cervellera, P. Spolaore, R. A. Ricci, "Acceptance Test of the Legnaro XTU Tandem", *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.*, 220 (1984) 30-36; v. anche R. A. Ricci and C. Signorini: "On the XTU Tandem of the Laboratori Nazionali di Legnaro", *Nucl. Instrum. Methods*, 184 (1981) 35.
- [14] Cfr. R. A. Ricci e A. Stefanini (a cura di) "I Laboratori Nazionali di Legnaro", *Notiziario INFN*, vol. 2, n. 2 (1986) 1, v. anche ref. [16].
- [15] Cfr. E. Migneco, P. Dalpiaz, R. A. Ricci: "Heavy Ion Physics in Italy", *Nucl. Phys. News*, vol.1, n.2 (1990) 12.
- [16] Cfr. S. Lunardi, R. A. Ricci, W. Von Oertzen (a cura di) "Structure of nuclei under extreme conditions", *Proc. 16th Nucl. Phys. Conf. EPS*, Padova 1998, *Il Nuovo Cimento A*, 111 (1998) 561.
- [17] Cfr. "CERN Heavy-Ion Facility. Design Report", CERN 93-01, 1993; "Lead Accelerator Facility", CERN coll. PS/DI Note 9503, 1995. V. anche A. Lombardi, A. Pisent; G. P. Bezzon, F. Cervellera, M. Comunian, A. Facco, G. Fortuna, M. Lollo, S. Marigo, M. F. Moisis, R. A. Ricci, "The final result of the IPR Project", *LNL Annual Report 1994*, INFN/LNL, p. 233.
- [18] Cfr. Annual Report 2008 e Annual Report 2010, INFN/LNL.
- [19] "EURORIB 12", *European Radioactive Ion Beam Conference 2012*, Abano, May 20-25, 2012.
- [20] "ION BEAMS'12" *Multidisciplinary Application of Nuclear Physics with Ion Beams*; *LNL June 6-8, 2012*.

Renato Angelo Ricci

Laureato in fisica nel 1950 presso l'Università degli Studi di Pisa e diplomato presso la Scuola Normale Superiore nel 1951, ha perfezionato gli studi in fisica atomica e nucleare a Parigi, presso l'École Polytechnique e il Collège de France, come allievo dei premi Nobel Louis de Broglie e Frédéric Joliot Curie. Docente e ricercatore di fisica generale sperimentale e nucleare presso le Università di Pisa, Torino, Napoli, Firenze, Padova, ha diretto attività di ricerca in fisica nucleare e fisica applicata oltre che in Italia, in Olanda, Francia, Brasile, Germania. Pioniere nello sviluppo in Italia della spettroscopia nucleare e della fisica degli ioni pesanti, è autore di oltre 300 pubblicazioni nel campo della fisica nucleare fondamentale e applicata, oltre che di articoli e rassegne connessi con l'informazione scientifica e con i problemi energetici e ambientali. È stato Direttore dei Laboratori Nazionali di Legnaro, Vice-Presidente dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Presidente della Società Italiana di Fisica (SIF) e della Società Europea di Fisica (EPS). È attualmente: Professore Emerito dell'Università degli Studi di Padova, Presidente Onorario della Società Italiana di Fisica, Fellow della EPS, Presidente dell'Associazione Galileo2001 e Presidente Onorario dell'Associazione Italiana Nucleare.

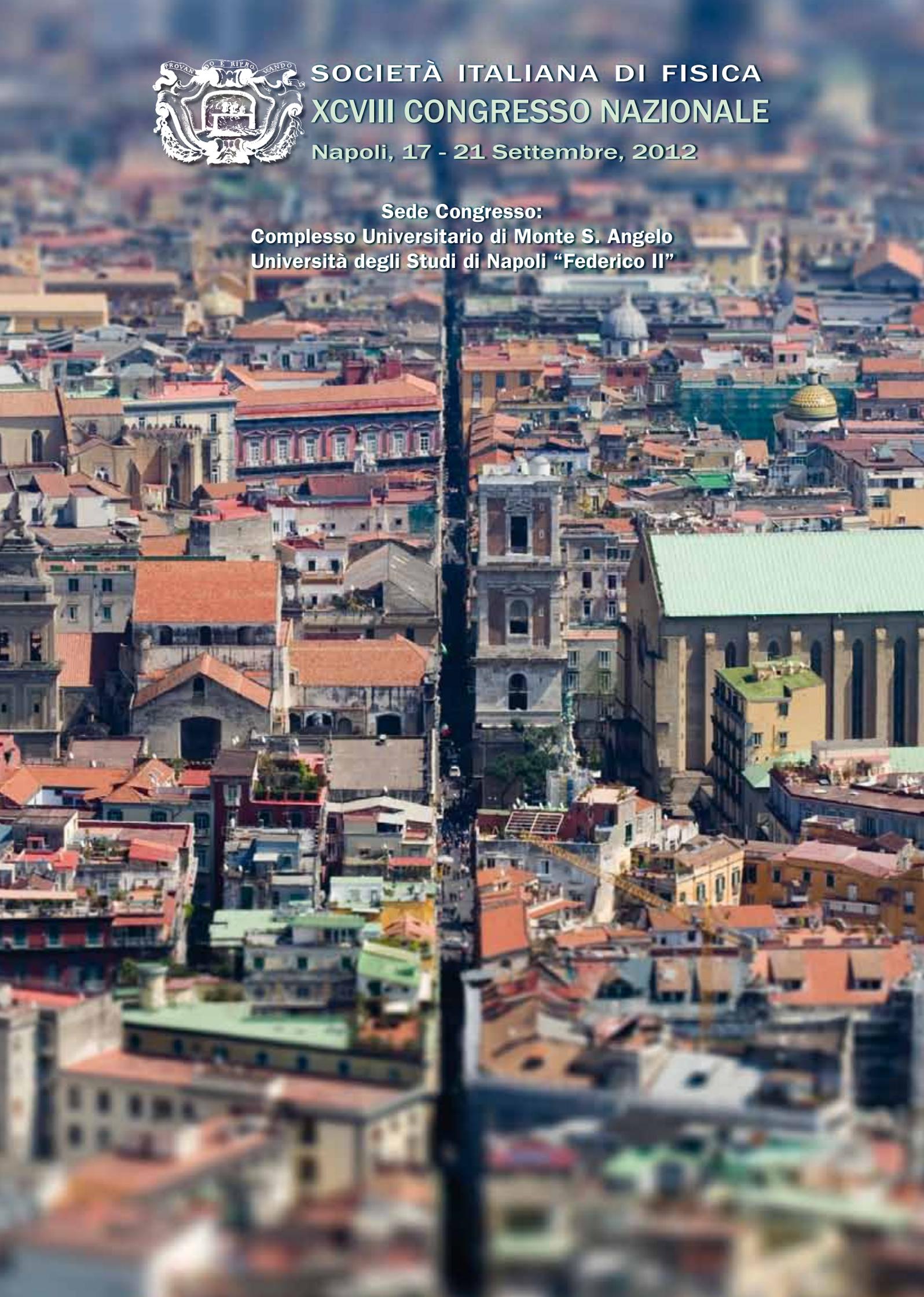




SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA XCVIII CONGRESSO NAZIONALE

Napoli, 17 - 21 Settembre, 2012

Sede Congresso:
Complesso Universitario di Monte S. Angelo
Università degli Studi di Napoli "Federico II"



PROGRAMMA GENERALE DEL CONGRESSO

<http://congresso.sif.it/>

Lunedì 17 Settembre

- 9:00–10:45 Cerimonia di Inaugurazione, Relazione del Presidente, Premiazioni:
– Medaglie ai Soci Benemeriti della SIF
– Premi per le Migliori Comunicazioni al Congresso Nazionale dell'Aquila 2011
– Premi per giovani laureati in Fisica dopo il maggio 2005 e dopo il maggio 2009
– Premio “Giuliano Preparata”
– Premio “Marco Fontana”
– Premio “Emiliano Sali”
– Premio “Sergio Panizza”
– Borsa “Antonio Stanghellini”
– Borsa “Ettore Pancini”
– Premio per l'Outreach
– Premio per la Didattica o Storia della Fisica
– Premio “Giuseppe Occhialini” SIF-IOP (Institute of Physics)
– Premio “Enrico Fermi”
- 10:45–11:30 Relazione Generale Sezione III (Fisica astroparticellare, astrofisica e cosmologia) in occasione del 100° anniversario della scoperta dei raggi cosmici:
J. BERDUGO (Madrid, Spain): *Cosmic rays as seen from space with AMS.*
- 11:30–13:00 Relazioni Generali Sezione I – Speciale LHC
P. BLOCH (Geneva, Switzerland): *New results from ATLAS and CMS at LHC.*
G. ISIDORI (Frascati, RM): *Modello standard e prospettive di nuova fisica alla luce dei risultati di LHC.*
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione IVa (Geofisica, fisica dell'ambiente e oceanografia fisica):
A. CRISE (Trieste): *La modellistica nell'ambito dell'oceanografia: quale futuro?*
- 16:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

Martedì 18 Settembre

- 9:00–13:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
A. CONIGLIO (Napoli): *Correlazione, connettività e complessità in materia condensata.*
- 16:00–16:30 Relazione Generale Sezione Va (Fisica applicata):
P. BOVINO (Genova): *Practical quantum cryptography.*
- 16:30–17:00 Relazione Generale Sezione Va (Fisica applicata):
R.A. RICCI (Legnaro, PD): *50 anni di fisica nucleare in Italia: da Napoli a Legnaro.*
- 17:00–19:00 Assemblea Generale dei Soci della SIF
Ordine del giorno:
1) Approvazione dell'ordine del giorno.
2) Approvazione del verbale dell'Assemblea Generale dei Soci del 27 Settembre 2011.
3) Relazione del Presidente.
4) Relazioni del Collegio dei Revisori dei Conti e approvazione dei bilanci consuntivi 2011.
5) Ratifica e nomina dei Revisori dei Conti.
6) Discussione e approvazione della Relazione del Presidente.
7) Commissione Didattica Permanente.
8) Fisica degli acceleratori.
9) EPS Young Minds.
10) Varie ed eventuali.

PROGRAMMA GENERALE DEL CONGRESSO

Mercoledì 19 Settembre

- 9:00–12:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 12:00–13:00 Relazione Generale Sezione Vb (Fisica per i beni culturali):
F. ZANINI (Trieste): *X-ray microstructural analysis at SYRMEP: applications in cultural heritage, archeology and palaeoanthropology.*
- 14:00–15:00 Relazione Generale Sezione VI (Fisica generale, didattica e storia della fisica)
in occasione del 100° anniversario della scoperta dei raggi cosmici:
L. GUERRIERO (Bari): *I raggi cosmici e la scoperta dei mesoni e degli iperoni prima dell'arrivo degli acceleratori.*
- 15:00–17:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 15:00–18:00 Sezione VI – Workshop SIF-SISS (Società Italiana di Storia della Scienza)
- 20:30 Cena Sociale

Giovedì 20 Settembre

- 9:00–13:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 15:00–16:00 Relazione Generale Sezione II (Fisica della materia):
M. INGUSCIO (Firenze): *Fasi quantistiche della materia verso lo zero assoluto.*
- 16:00–17:00 Relazione Generale Sezione IVb (Biofisica e fisica medica):
S. CANNISTRARO (Viterbo): *Nanoscopia a forza atomica per lo studio di sistemi biologici.*
- 17:00–19:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni

Venerdì 21 Settembre

- 9:00–11:00 Relazioni su Invito e Comunicazioni
- 11:00–13:00 Tavola Rotonda: *I vulcani italiani e i loro segreti.*
- Moderatore: S. GRESTA (Catania)
- Interventi di:
- M. MUCCIARELLI (Trieste):
Le esperienze dell'OGS nello studio dei vulcani.
 - M. COLTELLI (Catania):
Problemi connessi all'emissione di ceneri vulcaniche.
 - G. MACEDONIO (Napoli):
Simulazione di colonne eruttive e flussi piroclastici.
 - M. MARTINI (Napoli):
Il moderno monitoraggio dei vulcani campani.
 - D. PATANÈ (Catania):
Il moderno monitoraggio dei vulcani siciliani.
 - A. ZOLLO (Napoli):
La struttura interna dei vulcani mediante tecniche tomografiche.
 - P. GASPARINI (Napoli):
50 anni di fisica dei vulcani.
- 14:30–15:30 Relazione Generale Sezione I (Fisica nucleare e subnucleare):
A. BRACCO (Milano): *Lo studio dei nuclei esotici: risultati e prospettive con i fasci radioattivi.*
- 15:30–17:30 Relazioni su Invito e Comunicazioni

SISSA: UNA REALTÀ ITALIANA NEL PANORAMA INTERNAZIONALE

GUIDO MARTINELLI

SISSA, Trieste, Italia

La Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA) è una realtà di eccellenza nel panorama universitario italiano e nel mondo.

Qualche dato può aiutare a sintetizzarne le attività: nell'anno accademico 2011-2012, 9 gruppi di ricerca scientifica, 13 corsi di dottorato, 250 studenti, di cui il 30% donne e il 37% stranieri (di 30 diverse nazionalità dall'Etiopia alla Colombia, dalla Cina alla Nuova Zelanda, dall'Iran al Vietnam, dal Kenia all'Uzbekistan). Dal 1978, sono oltre 900 gli studenti che dalla SISSA hanno intrapreso il loro percorso nel mondo della ricerca scientifica, dei quali oggi circa l'86% svolge attività accademica o scientifica, il 40% lavora in Italia, circa il 25% in altri paesi europei e più del 13% negli Stati Uniti. Negli anni la SISSA, prima realtà universitaria in Italia dedicata alla formazione post-laurea per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca, ha rafforzato il proprio ruolo e prestigio come centro di alta formazione in matematica, fisica e neuroscienze, ambiti disciplinari in cui coltiva linee di ricerca d'avanguardia a livello internazionale e ha ottenuto i massimi riconoscimenti dalle rilevazioni del Comitato di indirizzo per la valutazione della ricerca (CIVR). La SISSA offre inoltre un ampio panorama di attività relative alla divulgazione scientifica, di cui la più nota è il Master in comunicazione della scienza (circa 230 diplomati), e all'editoria, attraverso la società SISSA Medialab, che pubblica alcune riviste scientifiche internazionali di amplissima diffusione, competendo con successo con le più importanti riviste europee e americane.

La SISSA ha sede in Trieste, in un campus di oltre 100mila metri quadrati con una splendida vista sul golfo.

Origine e sviluppo

La SISSA, istituita con decreto del Presidente della Repubblica il 6 marzo 1978, è stata fondata a Trieste come Scuola Superiore per la formazione avanzata e la ricerca teorica in matematica e fisica. È dunque una Scuola Superiore a Statuto Speciale come la Scuola Normale Superiore di Pisa, la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa, l'Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia, l'Istituto di Alti Studi di Lucca e l'Istituto Italiano di Scienze Umane di Firenze. È stata la prima istituzione in Italia a promuovere corsi post-laurea per il conseguimento del titolo di Dottore di Ricerca o PhD (dal latino Doctor Philosophiae), che costituisce la base per le carriere scientifiche a livello internazionale, quando ancora nel nostro Paese non c'erano programmi di formazione nella ricerca avanzata. Negli anni Novanta, la Scuola ha esteso i suoi interessi verso nuove linee di ricerca su temi d'avanguardia, come le scienze cognitive e la neurobiologia. E oggi, i suoi corsi offrono una scelta post-laurea particolarmente ricca e originale, un caso degno d'attenzione, paragonabile a poche altre istituzioni scientifiche.

Molti dei lavori scientifici prodotti dai ricercatori della SISSA, circa quattrocento ogni anno, vengono pubblicati sulle più autorevoli

riviste internazionali ad alto impact factor¹, quali Nature e Science. Questa intensa attività è ancora più significativa perché il frutto di una struttura universitaria relativamente piccola: sono circa 65 i docenti, 100 i post-doc e 250 gli studenti di PhD. Considerando i visitatori esterni a vario titolo e i ricercatori di alcuni enti, come il centro Democritos del CNR e l'INFN, con cui la SISSA ha all'attivo proficue collaborazioni, circa 600 persone lavorano ogni giorno all'interno delle strutture della Scuola.

Lo sviluppo della Scuola è ben illustrato dall'aumento di dottorandi e professori negli anni: 43 studenti di dottorato nel 1979, 130 nel 1989, 215 nel 2007, 247 nel 2010; per quanto riguarda il personale accademico, 4 membri permanenti nel 1979, 34 nel 1989, 61 nel 2011.

Organizzazione attuale

La SISSA è un centro di ricerca e formazione post-laurea finanziata principalmente dal Ministero dell'Istruzione, Università e Ricerca (MIUR). Circa il 21% del suo bilancio deriva da contratti con istituzioni italiane, europee e internazionali.

L'attività è attualmente organizzata in tre aree scientifiche (Fisica, Matematica e Neuroscienze) all'interno delle quali operano diversi gruppi di ricerca, che danno luogo tuttavia a numerose attività interdisciplinari. I gruppi principali sono Astrofisica; Teoria delle Particelle Elementari; Teoria della Materia Condensata; Fisica Statistica e Biologica; Fisica Statistica; Analisi Funzionale e Applicazioni; Fisica Matematica; Neuroscienze Cognitive e Neurobiologia.

La SISSA offre 13 corsi di dottorato in Matematica Applicata; Astroparticelle; Astrofisica; Genomica Funzionale e Strutturale; Geometria; Analisi Matematica; Fisica Matematica; Neuroscienze Cognitive; Neurobiologia; Fisica e Chimica dei Sistemi Biologici; Fisica Statistica; Teoria e Simulazione Numerica della Materia Condensata; Teoria delle Particelle Elementari.

In aggiunta alle attività di dottorato, esiste un programma di borse di studio universitarie e post-laurea, un attivo programma di formazione ad alto livello per studenti universitari in Neuroscienze e Fisica Matematica, con l'Università di Trieste (2004), in Fisica e Scienze Cognitive, con l'Università di Trento (2010), e diverse altre iniziative di scambio e programmi educativi con numerose università in Italia e all'estero. Un fiore all'occhiello della SISSA è il Laboratorio Interdisciplinare per le Scienze Naturali e Umanistiche su cui torneremo nel seguito.

¹ Il fattore di impatto (impact factor) è un indice sintetico che misura il numero medio di citazioni ricevute in un particolare anno da articoli pubblicati in una certa rivista e viene utilizzato per valutare le riviste scientifiche.

Didattica e ricerca: un binomio indissolubile

Alla SISSA la formazione è ricerca. La Scuola punta su una formazione articolata e interdisciplinare, su un ampio programma di internazionalizzazione, sull'alta qualità della ricerca scientifica e su legami con le imprese e il mondo del lavoro. La presenza di numerosi professori e studenti stranieri e le collaborazioni scientifiche con istituti di tutto il mondo rendono l'ambiente internazionale. Circa il 37% degli studenti e gran parte dei ricercatori (63%) e professori (11%) provengono infatti da altri paesi. Tutte le attività didattiche si svolgono in inglese.

I corsi di dottorato e i progetti di ricerca sono coordinati da scienziati di prestigio internazionale: alcuni docenti hanno ricevuto lauree "honoris causa" in rinomate università straniere, sono vincitori di importanti premi o sono membri di famose accademie scientifiche come, per esempio, l'American Physical Society. Inoltre i ricercatori della SISSA ottengono ogni anno importanti finanziamenti, nazionali o internazionali, aggiudicati su base competitiva grazie alla qualità dei loro progetti: solo nel 2010-2011 si sono aggiudicati finanziamenti MIUR per circa 5,5 milioni di euro e finanziamenti internazionali, tra cui alcuni ERC Grant, che sono particolarmente prestigiosi e estremamente selettivi, per circa 10 milioni di euro. Qualche esempio: il professor Giuseppe Legname si è aggiudicato un finanziamento di 5 milioni di euro per scoprire quali cambiamenti del genoma umano sono responsabili di alcune malattie neurodegenerative, attualmente incurabili; 2,5 milioni di euro sono stati assegnati al professor Matthew Diamond per un progetto sulla percezione cognitiva e circa un milione di euro al professor Gianni Dal Maso per elaborare modelli matematici relativi alla deformazione dei materiali.

Tra le nuove attività avviate dalla Scuola, evidenziamo la nascita, nel 2010, di MathLab, un nuovo laboratorio di modellistica matematica e calcolo scientifico per lo sviluppo di soluzioni innovative, in grado di soddisfare le esigenze di realtà produttive, industriali, economiche e sanitarie. Che in poco tempo è divenuto un centro di attrazione per i più brillanti giovani operanti in questo settore della ricerca di base e applicata. Il consiglio scientifico è diretto dal noto matematico Alfio Quarteroni dell'EPFL di Losanna.

Ogni anno alla SISSA vengono selezionati circa 70 studenti, con esami specifici molto rigorosi, a cui viene assegnata una borsa di studio per l'intera durata del programma formativo. Dopo un periodo di full immersion nella didattica, gli studenti sono inseriti nei gruppi di ricerca, fianco a fianco con docenti, post-doc e visiting professor. La guida del supervisor è costante: il corpo docente è infatti interamente dedicato agli studenti. Questo permette loro di seguire percorsi personalizzati e di sviluppare linee di ricerca in piena autonomia. La crescita scientifica degli studenti è favorita anche dalla partecipazione a seminari e workshop internazionali e dal confronto quotidiano con ricercatori di alto livello provenienti da tutto il mondo.

Grazie al confronto quotidiano con le numerose e qualificate realtà scientifiche presenti in Friuli Venezia Giulia, chi arriva alla SISSA si inserisce nel cuore pulsante di una rete di istituti che hanno reso, tra l'altro, Trieste la Città della Scienza conosciuta come tale in tutto il mondo, con opportunità uniche di far parte di una comunità scientifica internazionale. Con 37 ricercatori per mille abitanti e i numerosi istituti di ricerca di rilievo nazionale e internazionale, Trieste è infatti un'oasi scientifica nel panorama italiano, un territorio privilegiato per la produzione e la diffusione di conoscenza, un laboratorio avanzato di sperimentazione e di eccellenza, una meta per chi voglia intraprendere un percorso nel mondo della ricerca teorica e sperimentale.

Oltre agli accordi con le università di Trieste e di Trento, precedentemente menzionati, la SISSA ha all'attivo circa 120 accordi di collaborazione scientifica a livello di dottorato e post-dottorato con università in tutto il mondo ed è stata individuata dal MIUR e dal Ministero dell'Istruzione della Repubblica Cinese quale università italiana di riferimento per l'attuazione dell'accordo interministeriale sul terzo livello di istruzione. Inoltre ha stipulato un accordo di collaborazione didattico-scientifica nel campo delle neuroscienze

applicate all'ambiente e al ruolo degli inquinanti sulle funzioni del sistema nervoso con l'Università di Nova Gorica e nel campo della biologia dei prioni con l'Università di Lubiana (Slovenia). Di recente in collaborazione con il Centro Internazionale di Fisica Teorica Abdus Salam di Trieste (ICTP), il Politecnico di Torino e tre Università francesi (Pierre & Marie Curie, Paris Diderot e l'École Normale Supérieure Cachan) ha avviato un corso di laurea specialistica sulla Fisica dei Sistemi Complessi, il cui obiettivo è formare professionisti e ricercatori in grado di applicare simultaneamente conoscenze e metodologie tratte dalla fisica moderna, dalla matematica applicata, dall'ingegneria dell'informazione e dalla biologia computazionale, per la modellazione, l'analisi e la simulazione di sistemi complessi.

La qualità della formazione e della ricerca alla SISSA, apprezzata in Italia e all'estero, offre agli studenti la possibilità di scegliere tra un ampio ventaglio di opportunità lavorative nel mondo accademico internazionale, e tra le imprese impegnate in attività di innovazione e sviluppo. La nuova società, infatti, basata su una dinamica di sviluppo tecnologico, globalizzato, interdisciplinare e sempre alla ricerca d'innovazione, ha bisogno di figure esperte che, da una parte, conoscano le basi scientifiche delle più moderne tecnologie e, dall'altra, siano dei veri e propri "problem solver" di alto livello. Ciò offre a chi consegue il dottorato in materie scientifiche prospettive lavorative che vanno al di là del tradizionale sbocco accademico. Ed è a queste opportunità che la SISSA guarda con molta attenzione sia a livello formativo, favorendo occasioni di confronto e comunicazione con il contesto socio-economico nazionale e internazionale, sia a livello produttivo, favorendo la nascita di veri e propri spin-off da ricerche di base sviluppate all'interno della Scuola. Dalle biotecnologie per la salute all'information technology, dall'editoria on line alla visione artificiale per il controllo di qualità in catena di montaggio, da anni la Scuola promuove iniziative finalizzate al trasferimento tecnologico per valorizzare anche economicamente l'innovazione prodotta in ambito scientifico. Il deposito di brevetti internazionali e la creazione di spin-off sono un esempio concreto di questa positiva contaminazione tra ricerca di base e applicata.

La SISSA, inoltre, è uno dei nove centri scientifici del network multidisciplinare costituito dall'Istituto Italiano di Tecnologia (IIT). Per gli sviluppi metodologici e le applicazioni scientifiche della simulazione numerica si avvale della collaborazione del centro nazionale di simulazione numerica DEMOCRITOS del CNR-IOM, col quale persegue anche la realizzazione di progetti innovativi nel campo del calcolo scientifico ad alte prestazioni.



Guido Martinelli; il Direttore della SISSA a lezione.

Politica di reclutamento e valutazione

Per mantenere alto il livello della ricerca e la qualità degli studenti, dei post-doc e dei docenti che operano nella Scuola è essenziale perseguire una severa politica di selezione a tutti i livelli e offrire condizioni di lavoro e di studio competitive con altre realtà di alta formazione e ricerca presenti in Europa e nel resto del mondo. Questi obiettivi non sono sempre facili da raggiungere nel contesto delle norme e delle risorse disponibili oggi in Italia.

Oltre all'attenzione prestata alla qualità dell'insegnamento e della formazione, per attirare buoni studenti da tutto il mondo particolare impegno è dedicato alla fornitura di strutture e servizi. Chi studia alla SISSA ha accesso a una ricca biblioteca, aperta 24 ore al giorno, con 22000 monografie cartacee, 3000 volumi online, 20000 volumi di periodici, circa 6000 riviste scientifiche; dispone di una postazione di computer individuale con cui accedere a importanti risorse di calcolo e ai servizi internet; è aiutato da un servizio di housing per trovare alloggio in città e riceve un contributo mensile dalla Scuola per sostenere le spese di affitto; all'interno del campus, può usufruire del servizio di ristorazione, dell'asilo nido, della sala di meditazione, della sala della musica e della palestra. Agli studenti extracomunitari è offerto il rimborso per l'iscrizione al servizio sanitario nazionale, mentre alle studentesse è garantito un contributo di maternità.

La SISSA mette a disposizione dei propri ricercatori ingenti risorse per il calcolo scientifico, sia tramite apposite convenzioni con centri di super-calcolo, sia attraverso la progettazione, lo sviluppo, l'installazione e la manutenzione di sistemi innovativi per il calcolo scientifico ad alte prestazioni, basati sul calcolo parallelo e sul calcolo distribuito secondo il paradigma del Grid Computing. La Scuola sostiene la filosofia del software open source, sia incoraggiandone l'uso ove possibile, sia promuovendo lo sviluppo e la diffusione di software open source per il calcolo scientifico ad alte prestazioni e per la simulazione numerica della materia.

La SISSA persegue una politica particolarmente rigorosa anche nel reclutamento di nuovo personale. In linea di principio, tenuto conto del numero ridotto di docenti, ogni membro dello staff permanente è un "Principal Investigator" (PI) e si avvale, come collaboratori, esclusivamente di studenti di PhD e di post-doc. Questo significa che solo in casi eccezionali vengono assunti ex-studenti della SISSA, e comunque unicamente dopo un congruo periodo di tempo trascorso in altri istituti di ricerca. Al contrario, la prassi consolidata della Scuola, ogni volta che lo sviluppo di un'attività scientifica lo richieda, è quella

di reclutare nuovi docenti cercando a tutto campo e in tutto il mondo possibili candidati. A questo scopo è stato istituito un "hiring committee" per effettuare una valutazione preliminare di possibili candidati. Le valutazioni relative ai possibili candidati si basano non solo sulle opinioni dei membri del comitato, ma anche su pareri di referee esterni, che devono giudicare sulla base di tre criteri fondamentali: indipendenza intellettuale, creatività e produttività scientifica. Il comitato deve valutare anche il grado di sovrapposizione delle competenze del candidato rispetto a quanto è già presente alla SISSA: per esempio, il candidato può essere assunto per mantenere in vita la linea di ricerca di un professore che vada in pensione o, al contrario, per aprire una linea di ricerca innovativa in un campo del tutto assente nella Scuola.

La SISSA, come tutte le università italiane, viene valutata ogni anno dal "Nucleo di Valutazione di Ateneo" (NVA). Il rapporto – in italiano – è inviato al Ministero dell'Istruzione e al Comitato Nazionale per la Valutazione delle Università. Il suo ruolo è principalmente quello di approvare la struttura dei corsi di dottorato di ricerca, esaminare l'attività scientifica e registrare l'opinione dei dottorandi.

In aggiunta all'NVA, una peculiarità della Scuola è costituita dal Comitato Internazionale per la Valutazione Scientifica, previsto dallo statuto e composto da eminenti scienziati, esterni alla SISSA. Nel passato hanno presieduto il Comitato il professor David Gross, insignito nel 2004 del Premio Nobel per la scoperta della libertà asintotica delle interazioni forti, il professor Giorgio Parisi, uno dei più eminenti scienziati italiani, assegnatario di una Medaglia Boltzmann e di una Medaglia Dirac, uno dei due fisici italiani ad essere membro della American National Academy of Sciences, e il professor Édouard Brézin, già presidente del CNRS in Francia, membro dell'Accademia Francese delle Scienze di cui è stato Presidente, socio della American National Academy of Sciences, membro straniero onorario dell'Accademia Americana delle Arti e delle Scienze e della Royal Society. Questo Comitato Internazionale valuta ogni tre anni le attività scientifiche e di formazione della Scuola e presenta una relazione scritta in cui formula le proprie raccomandazioni per il futuro. Il Comitato Internazionale svolge un ruolo importantissimo sugli orientamenti e le scelte strategiche della SISSA.

Non solo Scienza: altre attività della SISSA

Alla SISSA, ricerca scientifica e formazione all'avanguardia si affiancano alla consapevolezza dell'importanza della comunicazione della scienza. Nel 1986 è stato istituito il Laboratorio Interdisciplinare in scienze naturali e umanistiche, che rappresenta il trait d'union fra



il mondo della scienza e l'universo umanistico. Nel 1993 è stato poi fondato il Master in comunicazione della scienza, che costituisce ormai una delle esperienze di questo genere più consolidate in Europa e quella più rappresentativa in Italia. E quest'anno è nato il Master in giornalismo scientifico digitale, finalizzato alla formazione di professionisti con competenze specifiche per l'industria multimediale su temi scientifici di forte impatto pubblico (medicina e biologia, energia nucleare ecc.). Il Laboratorio così è diventato un punto di riferimento nel campo del giornalismo scientifico, ma anche per la formazione di operatori sanitari, policy-maker ed esperti di museologia scientifica. Negli ultimi anni inoltre ha ottenuto diversi prestigiosi grant, nazionali e internazionali, per l'ammontare di svariate centinaia di migliaia di euro, per lo studio di questioni relative alla diffusione della scienza, come per esempio nel campo delle neuroscienze.

Il Laboratorio Interdisciplinare gestisce inoltre il Master in Complex Actions (MCA), nato nel 2011 in particolare per impulso del professor Fantoni, precedente direttore della SISSA. L'obiettivo principale di MCA è quello di fornire a studenti di dottorato, giovani ricercatori e imprenditori, gli strumenti per lo sviluppo di strategie di pensiero indipendente e originale, insieme ai fondamenti del metodo scientifico e del business management. MCA mira a creare così una nuova generazione di professionisti a cui affidare la leadership nelle imprese innovative.

Per gestire attività di comunicazione della scienza, nel 2005 è nata SISSA Medialab, le cui radici sono da rintracciare nel lavoro di un gruppo di scienziati ed esperti di comunicazione scientifica che hanno lavorato fin dai primi anni '90 alla SISSA, per sviluppare progetti altamente innovativi per la diffusione della conoscenza scientifica.

In collaborazione con scienziati di tutto il mondo e in un contesto marcatamente internazionale, alla SISSA sono nati strumenti originali per la comunicazione all'interno del mondo della ricerca, a partire dal Journal of High Energy Physics (JHEP), la prima rivista elettronica specialistica fatta dagli scienziati per gli scienziati, e per la comunicazione verso il grande pubblico (come nel caso di Ulisse e OggiScienza, magazine online visitati da milioni di lettori). SISSA Medialab è attiva nel campo dell'editoria scientifica, con la missione di servire gli interessi della comunità di riferimento, anche attraverso innovazioni informatiche. Le attività di editoria risalgono agli anni 90 quando, nella era pre-Web, SISSA fece decollare il primo servizio elettronico di e-print in Europa con l'archivio Babbage che più tardi confluisce in quello creato in parallelo a Los Alamos, ora ospitato presso la Cornell University. Solo pochi anni

dopo nacque l'idea di istituire JHEP, periodico online per i fisici delle alte energie, all'epoca unico nel suo genere, che avrebbe rivoluzionato le abitudini di questa comunità a livello mondiale. Dopo i risultati eccellenti di JHEP in termini di crescita, impatto e prestazioni generali, lo stesso modello è stato applicato alla pubblicazione di articoli di ricerca in altri campi: nell'astrofisica con JCAP, nella fisica statistica e sistemi complessi con JSTAT, nella strumentazione scientifica con JINST, e nella distribuzione online di atti di convegni e dispense.

SISSA Medialab si occupa di comunicazione della scienza, utilizzando media diversi e rivolgendosi a pubblici diversi grazie al supporto di una rete di centinaia di scienziati, in Italia e all'estero, e al coinvolgimento di una ricca squadra di giornalisti e comunicatori.

A parte le attività web-based, SISSA Medialab ha allargato le proprie iniziative a musei scientifici e mostre, offrendo consulenza, progettazione e produzione di testi e supporti. In tempi più recenti, alle attività editoriali tradizionali è stata affiancata la pubblicazione di titoli di divulgazione scientifica e le pagine scientifiche di "Giulio Coniglio", una rivista per bambini realizzata dalla famosa illustratrice Nicoletta Costa. Il team di comunicazione della scienza basa le proprie attività su una solida ricerca nel campo della divulgazione scientifica, in collaborazione con istituzioni italiane e internazionali, enti pubblici e università, con particolare riferimento alla percezione della scienza da parte del pubblico e all'analisi dei diversi ruoli dei media specializzati in comunicazione della scienza.

Dal 2007, inoltre, la SISSA ha un ufficio operativo per il trasferimento tecnologico. Con il compito di offrire supporto alla presentazione di richieste di brevetto (e per lo sfruttamento e la commercializzazione dei brevetti), alla realizzazione di business plan per spin-off, e alla partecipazione a competizioni per progetti pubblici o privati.

In conclusione

Un sistema universitario moderno ha inevitabilmente bisogno di articolarsi in diversi modelli di ateneo, da quelli generalisti, come la Statale di Milano o la Federico II di Napoli, ai Politecnici, come quello di Torino o quello di Bari, alle Scuole Superiori, come la SISSA di Trieste o la Scuola Normale Superiore di Pisa. In questo articolo abbiamo descritto gli aspetti principali del funzionamento della SISSA, caratterizzata da un numero piuttosto basso di membri di staff, un numero relativamente alto di ricercatori con contratti post-doc a tempo determinato, e una sostanziale parte dei finanziamenti alla ricerca provenienti da grant europei o da fondi privati.



IL NUOVO CIMENTO 150, 100, 50 ANNI FA

Antefatti. [vedi: N. Robotti "I fisici e il Risorgimento" XCVII Congresso Nazionale della Società Italiana di Fisica. L'Aquila, 2011. <http://www.sif.it/attivita/congresso/xcvii/conferenza>.
1839-1847. Riunioni annuali degli Scienziati Italiani in sede circolante nei diversi Stati
1841. Progetto di un "nuovo corso di studi di Fisica" affiancato da un testo comune, condivisibile da tutti i fisici italiani
1843-1847. Si pubblica "Il Cimento".
1845 Definizione di un sistema di unità di pesi e misure uniforme per tutti gli Stati Italiani
28 Luglio 1861. Legge n. 132 "Sui pesi e sulle misure": "I pesi e le misure legali nel Regno d'Italia sono unicamente quelli del sistema metrico decimale, le cui unità sono le seguenti: [...]"

150 ANNI FA

Il Regno d'Italia ha un anno. Il Nuovo Cimento (successore de "Il Cimento") da sette anni raccoglie le pubblicazioni di ricercatori da tutta l'Italia. La Società Italiana di Fisica non è ancora nata.

Da "Eruzione del Vesuvio del giorno 8 dicembre 1885". Del Prof. Giordano, *Il Nuovo Cimento*, 15 (1862) 82.
"Il Vesuvio fino dal 1855 si può dire essere stato in un'attività quasi continua: fu quella l'epoca della grande eruzione di lava che colmò a metà la grande vallata della Vetrana, e la sottoposta detta di *Faraone*, e i bacini circostanti e inferiori sul versante occidentale del Vulcano. Fu essa seguita dall'altra eruzione del 1858 non meno singolare per la sua lunga durata di ben più che due anni ed ugualmente dannosa, la quale bruciò e seppellì sotto il torrente di fuoco ridenti e fertili campagne, e per la copia immensa di materiali eruttati ed ammassatisi in alte montagne cangiò perfettamente di aspetto un immenso paese. Durante un sì lungo periodo il gran cratere alla sommità del cono non ha mai cessato di dar fuoco. Solamente da tre mesi esso erasi ridotto a tranquillità quasi perfetta: allorché a mezzodì del giorno 8 Dicembre una forte scossa di tremuoto colmò di costernazione e di spavento tutti gli abitanti dei paesi che sono alle falde del Vulcano e specialmente di quelli di *Torre del greco* popolosa borgata o città di oltre 24 mila anime, che giace a piè del monte al mare, e guarda tra mezzodì e occidentale" [...]

Fo notare da ultimo che l'atmosfera è stata sempre serenissima durante la eruzione, come per parecchi giorni anche prima per modo che ben di rado come al presente noi godiamo con verità e senza esagerazione del *bel cielo di Napoli*. La temperatura è dolcissima, avendo il termometro oscillato fra gli estremi 4 e 10; e il barometro si è mantenuto quasi costantemente all'altezza di 76 centimetri.

100 ANNI FA

La Società Italiana di Fisica ha quindici anni.

Da "Ricerche magneto-ottiche" di O. M. Corbino, *Il Nuovo Cimento*, 4 (1912) 415.

Riferirò in questa Nota su alcune esperienze che ho avuto occasione di eseguire recentemente, e delle quali, pur riconoscendone assai limitata l'importanza, sembrami utile far conoscere i risultati.

1. Polarizzazione rotatoria del vapore di sodio, normalmente alle linee di forza.

Com'è noto, per le belle esperienze di Voigt e Wiechert in un vapore metallico sottoposto all'azione d'un campo magnetico, le due componenti d'una vibrazione luminosa incidente, prese nel senso delle linee di forza e perpendicolarmente ad esso si propagano con diversa velocità: ne risulta una doppia rifrazione che acquista valori notevoli nelle immediate vicinanze delle righe proprie del vapore. [...]

Il fenomeno può constatarsi facilmente ricorrendo al tripisma di Fresnel, con la disposizione di cui mi son servito altre volte per mettere in evidenza la polarizzazione rotatoria nel senso delle linee di forza.

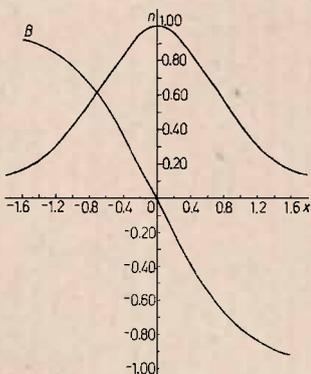
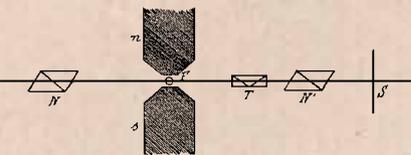
50 ANNI FA

La fisica italiana è matura. Il Nuovo Cimento è una delle principali riviste di fisica mondiali. Laboratori italiani, come il Laboratorio dei gas Ionizzati di Frascati, attraggono ricercatori internazionali.

E. G. Harris "On a plasma sheath separating regions of oppositely directed magnetic field", *Il Nuovo Cimento*, 23 (1962) 115.

Abstract. An exact solution of the Vlasov equations is found which describes a layer of plasma confined between two regions of oppositely directed magnetic field. The electrons and ions have Maxwellian distributions on the plane where the magnetic field vanishes. In the coordinate system, in which the electron and ion drift velocities are equal in magnitude but opposite in direction, the electric field vanishes and the electron and ion densities are everywhere equal.

[...] The variation of (the magnetic field) B and (the electron and ion density) n is sketched in Fig. 1 [...] The work on which this paper is based was done while the author was a member of the Radiation Division, Naval Research Laboratory, Washington, D.C. The paper was written at the Laboratorio Gas Ionizzati, Frascati, Italy, where the author spent the summer of 1961.



PROGETTO STEPSTWO (2009-2011): ATTIVITÀ, RISULTATI E RACCOMANDAZIONI



In ambito europeo ed italiano si assiste ad un progressivo riconoscimento dell'importanza della qualità dell'educazione scientifica e ad una conseguente crescita di interesse per la Didattica della Fisica e per la relativa ricerca. Questi settori sono importanti non solo per motivi culturali ma anche per creare una cittadinanza consapevole in relazione a questioni di forte impatto sociale ed ambientale (acqua potabile, educazione, cambiamenti climatici, produzione/distribuzione di energia, salute...) e formare competenze che appaiono sempre più centrali per lo sviluppo delle società.

Il progetto STEPSTWO (Stakeholders Tune European Physics Studies Two) ha mirato a sostenere i Dipartimenti universitari di Fisica nello sviluppo istituzionale indotto dalla Riforma-Bologna e nel superamento di ostacoli locali e nazionali, nell'ambito di un'ampia visione europea.

STEPSTWO, finanziato da LLP/Erasmus/Academic networks, si è articolato secondo tre linee di azione:

- 1) Curricula dopo la Riforma-Bologna e Apprendimento Continuo;
- 2) Moderni metodi d'insegnamento nella Didattica della Fisica e apprendimento centrato sullo studente;
- 3) Formazione degli insegnanti di Fisica e dimensione europea.

Hanno partecipato settantacinque Dipartimenti, da 27 paesi europei più altri 5, la Società Europea di Fisica (<http://www.eps.org>) che raccoglie quarantuno Società Nazionali di Fisica (dall'Albania all'Ucraina) e la European Physics Students' Initiative (EPSI) (http://www.eupen.ugent.be/steps/epsi/index_epsi.php)¹.

¹ STEPSTWO è stato coordinato da Laura Tugulea (Università di Bucharest, RO) e amministrato da Jan Naudts (Università di Antwerpen, BE). Il Comitato di Gestione era formato dai coordinatori dei tre Working Group: WG1, Urbaan Titulaer, Università Johannes Kepler, Linz AT; WG2, Sonja Feiner-Valkier, Università Tecnologica di Eindhoven NL; WG3, Evangelos Vitoratos, Università di Patrasso GR. Il Comitato Scientifico da: Hendrik Ferdinande, Università di Gent BE; Luigi Filippo Donà dalle Rose, Università di Padova IT; Gareth Jones, Imperial College, Londra UK; Wojciech Nawrocik, Università di Poznan PL; Peter Sauer, Università Leibniz, Hannover DE. Per l'Italia hanno partecipato i Dipartimenti di: Genova (responsabile A. Santroni), Napoli (L. A. Smaldone), Padova (L.F. Donà dalle Rose), Palermo (R. M. Sperandeo Mineo), Pavia (A. De Ambrosis), Pisa (R. Mannella), Roma (G. V. Pallottino), Trieste (F. Matteucci), Udine (M. Michellini). Urbaan Titulaer ha rappresentato EPS. Il sito www.stepstwo.eu è stato strumento principale per comunicazione fra i partecipanti e disseminazione dei lavori/risultati; le riunioni in presenza dei Working Groups and i General Forum Annuali (sponsorizzati da EPS) hanno permesso scambi intensi e fruttiferi.

STEPSTWO ha continuato l'azione di STEPS by EUPEN 2006-2008 (<http://www.eupen.ugent.be>), che ha coinvolto centosessantuno Dipartimenti di Fisica da trentasette paesi e dieci associazioni europee.

Il libro finale "Teaching Physics in Europe Activities, Outcomes & Recommendations of the STEPSTWO Project", Gen. Eds: Laura Tugulea, Gareth Jones, Jan Naudts è scaricabile da www.stepstwo.eu (Dissemination, Booklet). Di particolare interesse sono le Conclusioni e Raccomandazioni, esse possono servire per armonizzare i sistemi educativi analizzati che derivano da storie, culture e tradizioni diverse, sono una notevole ricchezza e possono beneficiare da mutazioni e ottimizzazioni.

I risultati dei tre Gruppi di Lavoro sono così riassumibili.

Il WG1 sul tema "Curricula di Fisica post-Bologna e Apprendimento Continuo"² ha indagato su:

- esperienze e punti di vista dei Dipartimenti e studenti (in collaborazione con EPSI) sulla realizzazione della struttura Bachelor – Master – PhD (3 + 2 + x);
- programmi Bachelor non convenzionali in Fisica.

Ha collaborato con il Progetto EPS (Implementazione della Riforma-Bologna in Fisica (www.eps.org/activities/education/eps-physics-education-studies)). I risultati principali sono i seguenti: il modello prevalente per il Bachelor è un programma di Fisica Generale, con varianti come Astronomia, Biofisica, Didattica, Fisica Medica, Geofisica, Meteorologia ecc. In quasi tutta l'Europa Occidentale meno del 10% di chi ottiene un Bachelor entra nel mondo del lavoro, la maggioranza continua in un Master; circa un terzo dei Dipartimenti offre un Master (con specializzazioni interne), circa i due terzi ne offrono diversi. Circa la metà di chi ottiene il Master prende un posto di lavoro, gli altri continuano in un programma PhD. Le opinioni di circa duecento studenti di diciotto paesi coerentemente indicano che i più intendono seguire un Master e poi fare un dottorato o entrare nel mondo del lavoro. La mobilità di tipo ERASMUS è ben vista, per corsi o tesi. I Bachelor non convenzionali sono in fase iniziale. Sembrano promettenti i quattro analizzati: Università Pierre et Marie Curie Paris, per quadri con conoscenze scientifiche e politiche; Vilnius University su Technologie Moderne e Management; Bucharest University e Adam Mickiewicz University in Poznan su Biofisica e Fisica Medica.

² A cura di Urbaan M. Titulaer (coordinatore), Jan Klosinski, University of Lodz PL, Frank J. van Steenwijk, Rijksuniversiteit, Groningen NL.

Il WG1 raccomanda la mobilità ERASMUS e quella "verticale" tra Bachelor e Master in Università diverse, sulla base di: equivalenza di competenze, conoscenze e capacità anziché di programmi di corsi in dettaglio; sviluppo di ricerche in collaborazione; armonizzazione dei Bachelor con le esigenze del mondo del lavoro; attenzione all'equilibrio di genere; offerta di Bachelor e Master non convenzionali e interdisciplinari; focus sulle abilità di ricerca nei programmi di dottorato; accurati controlli di qualità con strumenti appropriati.

WG1 ha organizzato a Vilnius LT l'undicesimo EUPEN General Forum "Physics after Bologna" (10-13 Settembre 2009) su cinque temi: i) Esperienze sulla transizione alla Riforma-Bologna in vari paesi EU; ii) Iniziative per nuovi curricula formativi in Fisica; iii) Programmi formativi non tradizionali correlati alla Fisica; iv) European Benchmarks per Bachelor in Fisica; v) Apprendimento Continuo e Fisica. È stata discussa la bozza di un Euro-Benchmark per il Bachelor mirante a facilitare cooperazione e mobilità nell'ambito della European Higher Education Area (EHEA <http://www.ehea.info>), avendo preso in considerazione i cambiamenti avvenuti con l'introduzione della Riforma-Bologna e dei meccanismi di controllo qualità. Come attività congiunta WG1-WG3 si è deciso di costruire un Euro-Benchmark per la formazione degli insegnanti di Fisica, i cui programmi sono molto diversi in Europa.

Il WG2 sul tema "Metodi moderni d'insegnamento nella Didattica della Fisica e Apprendimento centrato sullo studente"³ ha raccolto/elaborato dati su uso di strumenti/risorse digitali, in particolare: acquisizione di competenze mediante metodi d'apprendimento interattivi, MultiMedia (MM) e metodi/materiali basati su ICT; identificazione di buone pratiche nell'uso dei suddetti metodi; valutazione da parte di insegnanti e studenti di una selezione di questi metodi; continuazione e rinforzo della collaborazione con MPTL (Multimedia in Physics Teaching and Learning <http://www.mptl.eu/>) che annualmente propone materiali didattici commentati da un gruppo di revisori internazionali (Ottica ed Onde MPTL 14, Udine 2009; Meccanica MPTL 15, Reims 2010; Termodinamica e Fisica Statistica MPTL 16, Lubjiana 2011).

Sono stati dapprima prodotti circa cinquanta contributi (da ventuno paesi) su una sessantina di corsi/esempi specifici (circa cinquanta su temi di Fisica e dieci su abilità generali o trasferibili in altri contesti). A parte i progetti di ricerca, i vari tipi di apprendimento centrato sul discente rappresentano circa il 20% dei crediti, sia nel Bachelor che nel Master. Sono state analizzate quindici competenze, fra quelle specifiche per la Fisica sono risultate più importanti: applicazioni di conoscenza; apprendimento indipendente; abilità analitica, di pensiero critico, di sintesi mentre fra quelle non disciplinari o trasferibili: apprendimento indipendente, capacità di iniziativa e di lavoro di gruppo. I metodi di valutazione più comuni sono tradizionali (esami scritti circa 26%, relazioni/rapporti 24%, esami orali 15%, presentazioni 12%, prove in classe 5%, valutazioni da pari 4%, compiti a casa 6%). Il database riassuntivo è interrogabile via diversi parametri (paese, livello di studio, competenze, tipo di apprendimento centrato sul discente (basato su problemi, su progetti o altro), metodo di valutazione, informazioni per contatti).

Uso ed efficacia didattica dei nuovi metodi sono stati analizzati dapprima mediante uno studio pilota che ha coinvolto otto Università (AT, BE, FR, IT, NL, MT, SK, UK); poi altre Università (BG, EE, HR, LT, PT, RO) hanno partecipato. Gli esempi riguardano diversi livelli di formazione: (scuola elementare, secondaria, Bachelor, Master, formazione insegnanti), argomenti, gruppi di studenti (circa novecentocinquanta) e insegnanti (circa sessanta). Sono analizzati modi d'uso, prova di efficacia didattica, influenza sulle dinamiche di apprendimento,

valutazioni su comprensione dei contenuti, utilità, gradimento.

Il WG2 ha organizzato presso l'Università Pierre et Marie Curie di Parigi il dodicesimo EUPEN General Forum "New Ways of Teaching Physics" (2-5 Settembre 2010) su: i) Nuovi metodi di insegnamento/apprendimento in EU, specialmente apprendimento centrato sullo studente; ii) Implicazioni per le Università che introducono nuovi metodi; iii) Importanza di questi metodi nell'insegnamento di abilità trasferibili; iv) Importanza di nuovi MM e categorizzazione pedagogica; v) Studi pilota da parte di insegnanti e studenti. Ad una mezza giornata di sessione interattiva hanno partecipato anche molti insegnanti francesi, più di trenta contributi hanno discusso laboratorio a controllo remoto, immagini/dati da planetario digitale, video-biblioteca di esperimenti reali e virtuali, laboratorio in tempo reale con sensori, ecc. A MPTL 14 Udine 2009 il WG2 ha proposto alcuni indicatori didattici⁴ per valutare i nuovi metodi e favorirne integrazione e disseminazione. Essi sono: **Portata** (metodo, contenuti, approccio, livello d'approfondimento...); **Efficacia Didattica** (capacità di correlare aree diverse di conoscenza, fenomenologia e rappresentazioni astratte, ...) e **Potenziale Trasformativo** (capacità di agire come vettore di innovazione culturale nell'apprendimento/insegnamento).

Il WG3 sul tema "Formazione degli insegnanti di Fisica e dimensione europea"⁵ ha analizzato dati raccolti sull'insegnamento della Fisica (scuola elementare, secondaria ed Università), formazione iniziale ed in-servizio degli insegnanti di Fisica, buone pratiche per la costruzione di loro competenze, sistemi di valutazione, ragioni per la scarsità di insegnanti, indicazioni per la formazione in-servizio e propone, insieme con WG1, un Euro-Benchmark per formazione universitaria di insegnanti. In sintesi, le competenze di un "buon" insegnante di Fisica sono sintetizzabili in: solida conoscenza disciplinare; capacità di valorizzazione gli aspetti sperimentali; solida conoscenza pedagogica dei contenuti; capacità di comunicazione. I principali risultati sono qui riassunti per livello scolastico e riferiti alla maggioranza dei paesi partecipanti. Nell'Università, per ottenere una posizione è condizione essenziale una precedente esperienza d'insegnamento; esiste un sistema per la valutazione dei docenti e sono previsti corsi per migliorare le competenze didattiche. Questi tre aspetti sono raccomandati. Nella scuola secondaria ai docenti è richiesto di insegnare una seconda materia (matematica, chimica, biologia, informatica ...) anche senza averne una formazione specifica; in casi di carenza di docenti vi sono insegnanti di Fisica senza formazione in questa disciplina. Per la formazione iniziale sono presenti due strade principali. Nella strada Sequenziale (BE, CY, FR, GR, IT, NL, PT, RO, SI, SP, UK) un insegnante di Fisica consegue un Bachelor o Master in Fisica e poi segue corsi di didattica e fa pratica a scuola. Nella strada Parallela (BU, CZ, FI, DE, LT, MK, PL, SK, SE) gli insegnanti di Fisica sono formati in Fisica e didattica in un Dipartimento di Scienza dell'Educazione. In AT, MT, TR le due strade coesistono. In alcuni paesi la Riforma-Bologna non è stata ancora implementata per la formazione insegnanti. In diversi paesi i principali problemi sono: insufficienti investimenti in laboratori e insegnamento prevalentemente teorico; basso interesse per la Fisica; sovraccarico di lavoro degli insegnanti; scarsità di formazione in Fisica e Conoscenza Pedagogica dei contenuti... In quasi tutti i paesi Università, agenzie nazionali e private promuovono nuove iniziative per la formazione iniziale; la formazione in-servizio è molto varia in contenuti e durata; è necessario specificarne linee guida e valutazione. Per aumentare il numero degli insegnanti di Fisica qualificati è raccomandato un loro

⁴ E Sassi and S Feiner-Valkier, "On the use of new methods and multimedia", *Il Nuovo Cimento C*, 33, No. 3 (2010) 1-11.

⁵ A cura di Evangelos G. Vitoratos (Coordinatore), Università di Patrasso GR, Ovidiu Caltun, A.I. Cuza University, Iasi, RO, Rosa-Maria Sperandeo-Mineo, Università di Palermo IT.

³ A cura di Sonja Feiner-Valkier (coordinatrice), Eindhoven University of Technology NL, Ivan Ruddock, University of Strathclyde, Glasgow UK; Elena Sassi, Università Federico II, Napoli IT.

miglior stato sociale e stipendio; maggiori investimenti in laboratori e metodi/tecnologie ICT; migliore formazione disciplinare e didattica.

Nella scuola elementare le scienze sono insegnate ad alunni di sette-dieci anni, gli insegnanti hanno quasi sempre un diploma universitario in area pedagogica e un tirocinio a scuola. I problemi, simili a quelli per la scuola secondaria, sono principalmente: fondi e laboratori insufficienti; scarsa formazione per l'insegnamento scientifico; mancanza d'interesse per le scienze. Si raccomandano la formazione su metodi costruttivisti, conoscenze scientifiche, insegnamento della Fisica di base e la collaborazione tra insegnanti e ricercatori.

Il WG3 ha organizzato il tredicesimo EUPEN General Forum "Preparing Good Physics Teachers" a Limassol CY (28-30 Agosto 2011) su: i) Formazione insegnanti di Fisica in Europa; ii) Competenze degli insegnanti di Fisica; iii) Ruolo dei dipartimenti di Fisica; iv) Formazione in-servizio; v) Euro-Benchmarks per Fisica e formazione insegnanti.

I principali risultati di STEPSTWO sono riassumibili in:

- Euro-Benchmarks per Bachelor in Fisica
- Primo inventario di Bachelor in Fisica non convenzionali
- Database di esempi di metodi di insegnamento moderni e centrati sul discente
- Analisi su risorse multimediali per la Fisica (università e secondaria) con valutazione della loro efficacia in usi effettivi
- Analisi di metodi e strutture per la formazione insegnanti di Fisica e analisi della scarsità di insegnanti qualificati
- Euro-Benchmarks per la formazione universitaria di insegnanti di Fisica (in scuole secondarie che preparano per l'università)

L'Euro-Benchmark per il Bachelor in Fisica mira a facilitare l'implementazione della European Higher Education Area, la cooperazione e lo scambio di studenti fra le università. È da intendersi come indicazione di programmi comuni alla maggioranza dei curricula europei di Fisica e delle conoscenze ritenute sufficienti per ammettere al Master studenti di altre università. Non fissa programmi dettagliati né sostituisce i sistemi di controllo qualità. Si raccomanda che dei centoquaranta crediti almeno quaranta siano dedicati a Fisica e Matematica, es. 20-40 crediti per ognuna delle aree seguenti:

- meccanica classica, termodinamica e teoria cinetica, relatività speciale, meccanica quantistica (basi);
- oscillazioni e onde, ottica (basi), elettromagnetismo;
- meccanica quantistica, fisica statistica, dello stato solido, atomica, nucleare e subnucleare;
- laboratorio sperimentale;
- matematica, informatica, modellistica.

Ad argomenti a scelta sono riservati 0-40 crediti.

L'Euro-Benchmark per formazione universitaria di insegnanti di Fisica intende essere un riferimento per programmi di formazione iniziale di insegnanti. L'osservata diminuzione o stagnazione degli studenti che studiano Fisica o altre scienze è dannosa per lo sviluppo di queste discipline e dell'economia europea. I progetti PISA⁶ e TIMSS⁷ hanno mostrato l'incompletezza del raggiungimento degli obiettivi dell'insegnamento scientifico scolastico. Una componente della soluzione di questo complesso problema è la ristrutturazione della formazione degli insegnanti di Fisica basata su contributi dalla Didattica

⁶ PISA (Programme for International Student Assessment) promosso dall'OCSE (Organizzazione per Cooperazione e Sviluppo Economico) misura le competenze degli studenti in matematica, scienze e lettura <http://www.pisa.oecd.org>.

⁷ TIMSS (Trends in International Mathematics and Science Study) fornisce dati su competenze in Matematica e Scienze <http://nces.ed.gov/timss/>

della Fisica e ricerche correlate⁸.

Un insegnante dovrebbe avere competenze di Fisica, Didattica della Fisica e Pedagogia Applicata. Le principali sono:

- familiarità con le maggiori aree della Fisica, suoi metodi, teorie, strutture matematiche, tecniche sperimentali e d'interpretazione dati;
- capacità di usare la letteratura disciplinare ed altro per risolvere problemi e rispondere a domande; conoscere le basi dello sviluppo storico della Fisica e della sua importanza per le altre scienze e la tecnologia;
- saper introdurre gli allievi alla natura della scienza, ai suoi valori, modi di ragionare, linguaggi;
- sostenere la classe in un apprendimento attivo;
- usare vari registri di rappresentazione e comunicazione e collegare quanto insegna all'esperienza quotidiana;
- pianificare/implementare l'insegnamento coerentemente con i programmi, il quadro istituzionale, i problemi specifici della scuola; possedere una vasta gamma di metodi/strumenti d'insegnamento e di Tecnologie Didattiche;
- capire gli stili d'apprendimento degli allievi, le loro idee di fisica ingenua, i nodi concettuali e mettere in atto appropriate strategie/azioni;
- adoprarsi per migliorare gli squilibri di genere e motivare tutti gli allievi;
- conoscere le basi della pedagogia dell'apprendimento e usare adeguati metodi/strumenti di valutazione;
- esser capace di riflettere sulla sua funzione di educatore e sviluppare ulteriori competenze;
- riconoscere i problemi di apprendimento e di sviluppo, aiutare gli allievi a convergere verso gli obiettivi didattici, lavorare in gruppo con gli altri insegnanti, risolvere conflitti.

L'Euro-Benchmark è proposto ai dipartimenti per il progetto o l'adattamento dei loro programmi di formazione insegnanti; può anche essere utile per la valutazione e le procedure di controllo qualità. Per i crediti lo schema non include il curriculum completo, ma solo la parte di Fisica e Didattica della Fisica. Non dà indicazioni per Pedagogia Applicata e tirocinio a scuola, tesi di Bachelor o Master, seconda materia, se richiesta.

Il totale dei crediti per anno è sessanta, l'intervallo tipico è (10-20) crediti, per la Didattica della Fisica sono previsti (15-30), per il laboratorio sperimentale (10-25), a scelta (0-30). Lo schema è:

- meccanica classica, termodinamica e teoria cinetica, relatività speciale;
- ottica e elettromagnetismo;
- meccanica quantistica e struttura della materia;
- laboratorio sperimentale;
- matematica e informatica;
- didattica della fisica;
- argomenti a scelta connessi alla Fisica.

Le raccomandazioni conclusive per università e Dipartimenti di Fisica sono:

- Rafforzare l'impegno per la Didattica; mirare all'eccellenza in ricerca ed educazione
- Riferirsi agli Euro-Benchmarks nel progettare i Bachelor e promuovere la mobilità verticale (da Bachelor in una Università a Master in una diversa)
- Promuovere la mobilità degli studenti nel progetto/implementazione dei curricula

⁸ In USA una Task Force on Teacher Education in Physics è stata costituita da la Società Americana di Fisica, l'Istituto Americano di Fisica e l'Associazione Americana degli Insegnanti di Fisica. I risultati sono disponibili su <http://www.ptec.org/taskforce>.

- Ampliare l'offerta di Bachelor non convenzionali in Fisica e interdisciplinari per attrarre più studenti
- Aprire a studenti non-standard (es. criteri flessibili d'entrata, età, tempo-parziale, formazioni precedenti di tipo misto...)
- Cooperazione flessibile con organizzazioni di ricerca e industrie, con mobilità di studenti.

Per i nuovi metodi d'insegnamento si sottolinea che il loro uso non è ancora generalizzato, nonostante i molteplici vantaggi didattici/motivazionali e il forte aumento degli studenti nativi digitali. La ricerca in Didattica della Fisica (PER) mostra che progetti/strumenti interattivi stimolano pensiero critico e creatività. Ambienti d'apprendimento centrati sul discente come partecipante attivo facilitano il raggiungimento degli obiettivi didattici e motivano. Le raccomandazioni a riguardo sono:

- Inserire i nuovi metodi, in quanto strumenti di grande potenziale didattico, nella formazione scolastica, degli insegnanti in-servizio, a distanza e nell'apprendimento continuo
- Valutarne l'importanza per la formazione primaria, secondaria, universitaria e specialmente per la formazione degli insegnanti data l'ampia varietà nella preparazione di questi ultimi
- Usarli insistendo più sugli aspetti didattici che su quelli tecnici, per comprendere meglio l'impatto sulle competenze in Fisica e su quelle trasversali e trasferibili in altri contesti.

Circa la formazione pre-servizio degli insegnanti di Fisica si sottolinea il consenso su una preparazione universitaria in Fisica, Didattica della Fisica e Pedagogia Applicata, nonché su un tirocinio pratico. Una formazione in-servizio è necessaria per migliorare/mantenere la qualità dell'insegnamento. La mobilità è molto auspicabile per incrementare la dimensione europea, vanno pertanto superati ostacoli organizzativi e conoscenza di lingue straniere. Pochi laureati in Fisica insegnano nella scuola secondaria; in molti paesi c'è scarsità di insegnanti qualificati, per ragioni strutturali o temporanee; la presenza della Fisica nei programmi è stata ridotta in diversi paesi.

Le raccomandazioni sono:

- Nei curricula di scuola secondaria (14–18 anni) occorre una parte chiaramente identificabile come Fisica e chi la insegna non va indicato come insegnante di scienza
- Dove agli insegnanti di Fisica è richiesto di insegnare una seconda materia essa, non prescritta rigidamente, deve essere compatibile con interessi e formazione dei docenti. Matematica o Chimica sarebbero normalmente le più appropriate data la condivisione di molti aspetti con la Fisica
- Occorrono incentivi, non solo finanziari, affinché i laureati in Fisica si formino come insegnanti
- Se la scarsità di insegnanti di Fisica è così alta che laureati in altre discipline (es. Biologia) sono comunemente chiamati ad insegnare Fisica, per essi occorrono corsi di "formazione all'insegnamento della Fisica" oltre i consueti corsi di formazione in-servizio.

Ai Dipartimenti di Fisica è raccomandato di:

- Incoraggiare gli studenti di Fisica verso l'insegnamento, sottolineando importanza sociale e soddisfazione intellettuale di questo lavoro
- Aiutare le scuole secondarie locali a fornire una buona didattica della Fisica e per motivare studenti e docenti attraverso interazioni specifiche, attività di laboratorio e di fisica avanzata, visite nelle scuole
- Offrire una formazione insegnanti secondo la strada Parallela (nei paesi dove quella Sequenziale è predominante) in collaborazione con i Dipartimenti di Educazione.

Globalmente le conclusioni e raccomandazioni di STEPSTWO possono essere molto utili per le Università ed i Dipartimenti di Fisica nell'attuale fase post Riforma-Bologna.

Elena Sassi
Dipartimento Scienze Fisiche, Università di Napoli



Foto di gruppo del General Forum 2011 di STEPSTWO
Limasso, Cipro, 28-30 Agosto.

CENTO ANNI DI DIFFRAZIONE DEI RAGGI X

L'8 e 9 maggio di quest'anno, si è svolto a Roma, presso la bellissima Aula delle Scienze Fisiche di Palazzo Corsini, il Convegno Internazionale *Il Centenario della Diffrazione dei Raggi X*, organizzato dall'Accademia Nazionale dei Lincei, in collaborazione con l'Accademia delle Scienze di Torino e con il contributo dell'European Molecular Biology Organisation (EMBO), dell'Università Roma Tre, dell'Associazione Italiana di Cristallografia (AIC) e con il patrocinio dell'European Crystallographic Association (ECA).

Da segnalare la grande partecipazione di pubblico, soprattutto di giovani.

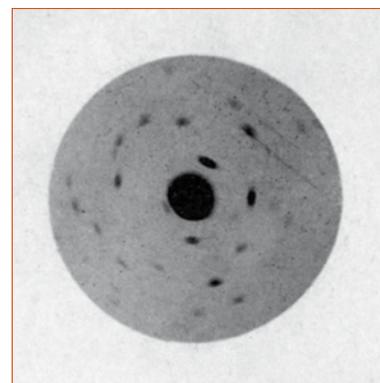
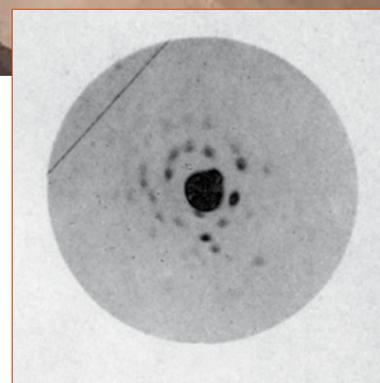
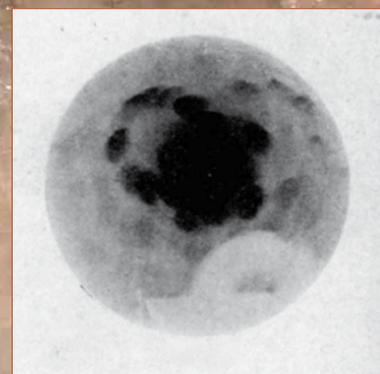
Il saluto dell'Accademia dei Lincei è stato portato da Giorgio Salvini, in veste di Presidente Emerito. Il suo discorso è stato molto profondo, e ha toccato punti fondamentali della ricerca scientifica, con particolare riferimento alle nuove generazioni.

Salvini ha poi conferito il diploma di nomina a membro dell'Accademia e la relativa medaglia a Robert Huber del Max Planck Institute für Biochemie di Martinsried, insignito del premio Nobel per la Chimica nel 1988, insieme a Johann Deisenhofer e Hartmut Michel, per "la determinazione della struttura tridimensionale di un centro di reazione fotosintetico".

Anche il saluto dell'Accademia delle Scienze di Torino, portato dal socio Giovanni Ferraris, è stato di grande interesse, e ha ripercorso la storia di questa antica e prestigiosa Istituzione, fin dalla sua fondazione nel 1757, per volontà del conte Giuseppe Angelo Saluzzo di Monesiglio (chimico che mise a disposizione la propria casa per le riunioni dei soci) con la collaborazione del celebre astronomo e matematico Joseph-Louis Lagrange e del fisico e medico Giovanni Francesco Cigna.

Sebbene sia stato un Convegno dedicato essenzialmente alla cristallografia, il suo carattere interdisciplinare è testimoniato, oltre che dalla costituzione del Comitato Ordinatore (Annibale Mottana (Presidente, mineralogo), Maurizio Brunori (biochimico), Giovanni Ferraris (cristallografo), Roberta Oberti (mineralogo), Roberto Righini (fisico), Pietro Rossi (filosofo della storia), Giancarlo Setti (astrofisico), Adriano Zecchina (chimico fisico), anche dalla scelta degli oratori e dal tema delle loro relazioni. Il lettore interessato potrà trovare i testi dei vari interventi in un supplemento speciale dei Rendiconti dei Lincei, di prossima pubblicazione.

Nella prima giornata, i lavori sono stati aperti da Annibale Mottana (Università Roma Tre) con un intervento di ampio respiro che, a partire dalle prime osservazioni del Gesuita Francesco Maria Grimaldi (1660), sulla possibile propagazione di tipo ondulatorio della luce, ha ripercorso le principali tappe che hanno portato ai fondamentali lavori di Young e di Fresnel sull'interferenza e diffrazione della luce, fino alla scoperta di Max Laue, del 1912, della diffrazione dei raggi X da



Le prime immagini di diffrazione dei raggi X ottenute da W. Friedrich, P. Knipping, M. Laue (Sitzungsber. Bayer. Akad. Wiss. Math. Phys. Klasse, 1912). Le tre fotografie, prese a distanze diverse e crescenti, mostrano che il fascio diffratto si propaga linearmente dal cristallo (solfato di rame).

parte dei cristalli. Il successivo intervento di Nadia Robotti (Università di Genova) ha ricostruito invece, nel dettaglio, l'origine dell'idea di Laue, gli esperimenti di Friedrich e Knipping per verificare questa idea e l'interpretazione teorica data dallo stesso Laue (1912) ai risultati ottenuti. Ampia attenzione è stata anche prestata alla successiva e quasi immediata spiegazione fornita da William Lawrence Bragg in termini di "riflessione" (ora nota come "riflessione alla Bragg") e alla realizzazione da parte del padre dello stesso Bragg, William Henry, dello "spettrometro a raggi X", destinato a diventare uno strumento formidabile per lo studio dei cristalli. La mattinata si è conclusa con altri due interventi di taglio storico-culturale. Nel primo, Davide Viterbo (Università del Piemonte Orientale), ha tracciato un quadro completo dello sviluppo delle ricerche condotte in Italia nel settore della cristallografia a raggi X, dai primi anni '20 fino ai giorni nostri, con particolare attenzione per il ruolo del CNR negli anni '60 e la fondazione, nel 1968, dell'Associazione Italiana di Cristallografia. Gilberto Artioli (Center for Cement Research, Padova) ha discusso il contributo delle tecniche diffrattive, congiuntamente alla spettroscopia e l'*imaging*, alle sfide metodologiche e sperimentali rappresentate dall'analisi tecnica di materiali artistici e archeologici, e dall'interpretazione dei processi a cui sono soggetti.

Nella seconda parte della giornata è stata invece illustrata la rilevanza della diffrazione dei raggi X per alcune recenti ricerche in chimica e in geofisica. Giuseppe Allegra (Politecnico di Milano) ha analizzato alcuni aspetti della cristallizzazione di polimeri lineari stereoregolari, applicando poi criteri generali termodinamici al paragone tra un campione di polimero cristallino e un campione amorfo dello stesso polimero. Stefano Merlini (Università di Pisa) ha discusso la relazione tra diffrazione dei raggi X e sviluppo della chimica dei cristalli, con particolare attenzione per l'impatto sulle scienze geologiche e per la relazione tra mineralogia e chimica della materia. Alla storia trentennale dei quasicristalli è stato invece dedicato l'intervento di Paul J. Steinhardt (Princeton University), il quale ha ricordato che i primi quasicristalli naturali sono stati scoperti in un meteorite le cui origini affondano agli inizi del Sistema Solare, e che dunque i quasicristalli vanno considerati come una delle primitive fasi della materia formatesi nella nostra Galassia. Per dare un'idea concreta di un quasicristallo, sono stati fatti circolare tra il pubblico modelli colorati e di dimensioni ragguardevoli di alcune di queste strutture. Infine, Tiziana Boffa Ballaran (Bayerisches Geoinstitut, Bayreuth) ha mostrato come, nell'impossibilità di un'osservazione diretta, la diffrazione possa essere una finestra da cui guardare sotto la crosta terrestre. Attraverso gli sviluppi della tecnica "diamond anvil cell" (DAC), accoppiata con l'uso di sorgenti di luce di sincrotrone e riscaldamento con laser, si è infatti resa possibile l'acquisizione di dati di diffrazione di raggi X in condizioni estreme di pressione e temperatura, quali quelle presenti all'interno della Terra.

La seconda giornata del Convegno è stata invece dedicata in gran parte alla rilevanza della diffrazione nel campo della biologia. Nel suo intervento di apertura, il Nobel per la Chimica Robert Huber (Max Planck Institut für Biochemie, Martinsried), ha illustrato come la conoscenza della struttura delle proteine si sia andata sviluppando a un ritmo sempre maggiore negli ultimi venti anni, tramite i metodi e gli strumenti della cristallografia delle proteine, la microscopia elettronica, e la risonanza magnetica nucleare. L'interdisciplinarietà di questo settore di ricerca è testimoniata dal fatto che la conoscenza delle strutture è alla base della comprensione delle specificità di legame e delle proprietà catalitiche (chimica), delle loro proprietà spettrali e di trasferimento di elettroni (fisica), e del loro ruolo nei sistemi fisiologici (biologia e medicina). Martino Bolognesi (Università di Milano) ha passato in rassegna la storia della biologia strutturale, le cui origini risalgono, oltre che nella scoperta di Laue, anche in alcuni studi pionieristici di metà '800 che avevano dimostrato la possibilità di ottenere cristalli di emoglobina, la proteina caratteristica del sangue. Particolare attenzione è stata dedicata all'evoluzione della cristallografia di proteine in parallelo

agli sviluppi della biochimica e della biologia molecolare, ai progressi della teoria cristallografica, allo sviluppo di sistemi di calcolo veloci e alla diffusione delle sorgenti di luce di sincrotrone. Beatrice Vallone (Sapienza Università di Roma) ha illustrato la "Time-resolved Laue-diffraction", un elegante approccio tramite il quale impulsi di raggi X policromatici vengono usati in combinazione con triggering in luce laser in modo tale da ottenere un filmato in tempo reale della dinamica di evoluzione proteica. Alessia Bacchi (Università di Parma) ha invece analizzato l'importanza della diffrazione dei raggi X nello sviluppo di nuovi farmaci. Questa tecnica consente non solo di determinare la struttura molecolare tridimensionale dei composti farmaceutici e di correlarla con il tipo di interazione che si instaura tra farmaco e recettore nei sistemi biologici, ma anche di caratterizzare la modalità con cui le molecole del principio attivo si associano nella forma cristallina presente nelle compresse e quindi di definire i parametri per cui un farmaco è biodisponibile e stabile nel tempo.

L'ultima parte del convegno è stata dedicata ad alcune frontiere importanti della cristallografia.

Carmelo Giacobozzo (Università di Bari) ha mostrato come negli ultimi quindici anni siano stati introdotti in cristallografia nuovi "phasing methods" e siano stati al contempo rivisitati vecchi approcci. Si sono analizzate le basi di alcune di queste innovazioni, la loro capacità di comprendere le strutture delle proteine e le loro prospettive di sviluppo. Gervais Chapuis (Ecole Fédéral Polytechnique, Lausanne), nel suo intervento dedicato alle "strutture aperiodiche", ha ricordato come si è pervenuti ad una generalizzazione del concetto di cristallo, interpretando le anomalie nelle figure di diffrazione per alcuni materiali come proiezioni nelle tre dimensioni di un reticolo a più dimensioni. In questo modo ogni struttura cristallina che richiede più di tre numeri interi per caratterizzare le sue figure di diffrazione può essere descritta come un oggetto periodico in uno spazio di dimensioni uguali al numero degli interi necessario. Filippo Frontera (Università di Ferrara) ha illustrato l'impiego in astrofisica delle lenti di Laue, basate su cristalli di struttura opportuna che diffrangono, in "configurazione trasmissione", cioè nella configurazione adottata per primo da Laue, la radiazione gamma di energia superiore ai 70/100 keV. Questo impiego è di grande importanza in quanto, attraverso la concentrazione dei raggi gamma, si possono superare i limiti di sensibilità degli attuali strumenti impiegati per tali energie, che si basano su rilevatori direzionali senza focalizzazione della radiazione. L'intervento di Marco Cammarata (Université Rennes 1) ha mostrato, con esempi tratti dalla scienza dei materiali, dalla chimica e dalla biofisica, come la tecnica degli "ultrafast X-rays" stia contribuendo a fornire informazioni altrimenti inaccessibili relativamente alla comprensione della dinamica della materia. Infine, il Premio Nobel John Ernst Walker (EMBO Lecturer, MRC, Cambridge, UK) ha illustrato come il flagello batterico e l'enzima ATP-sintasi siano esempi di macchine molecolari mosse da motori rotanti che utilizzano energia direttamente dalla forza motrice protonica attraverso la membrana, sottolineando come queste ed altre macchine biologiche abbiano molti elementi simili che riflettono comuni origini evolutive. Sono state anche discusse le possibili implicazioni relativamente alla progettazione di nano-macchine rotanti artificiali.

Nel complesso questo Convegno ha mostrato che la cristallografia a raggi X è diventata una scienza multidisciplinare di grande vitalità ed efficacia. Anche se, come ha sottolineato Annibale Mottana nelle conclusioni finali, la Cristallografia a Raggi X non può essere considerata come la prima nanotecnologia, certamente va riconosciuta come la prima disciplina che ha consentito di studiare la materia, di qualsiasi tipo e su qualsiasi complessità, a livello atomico.

Nadia Robotti
Università di Genova



IL PROGETTO HADRONPHYSICS3 FONDI EUROPEI PER LO STUDIO DELLA FISICA ADRONICA

La più grande iniziativa in termini di numero di istituti partecipanti e numero di scienziati coinvolti, finanziata dalla Commissione Europea nel campo della fisica, il progetto "Study of Strongly interacting matter" acronimo Hadron Physics3, con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) come Istituto Coordinatore e Carlo Guaraldo come project coordinator. Ad HadronPhysics3, che ha preso il via il 1° Gennaio 2012, con 3 anni di durata, partecipano 2500 ricercatori da 170 Istituti di 35 Paesi.

Come si evince dall'acronimo, questo è il terzo progetto di una serie di iniziative finanziate dall'Europa, iniziata nel 2004, per studiare la fisica adronica, cioè la fisica delle particelle che interagiscono attraverso la "forza forte", una delle quattro forze fondamentali della Natura (insieme alla "forza debole", a quella elettromagnetica e alla gravità), a quella affascinante della fisica, in rapida espansione, che si colloca tra la fisica nucleare propriamente detta e la fisica delle particelle elementari. La forza forte determina i legami tra i più piccoli costituenti la materia, i quark e i gluoni, a formare gli adroni: i barioni, formati da tre quark, come il protone e il neutrone e i mesoni, come il pione, formati da un quark e un antiquark. Quark e gluoni possono anche combinarsi in forme esotiche di materia adronica non stabile: stati a molti quark, stati ibridi di quark e gluoni, stati formati solo da gluoni, le "glueball". Inoltre, sotto particolari condizioni di pressione o di temperatura, il legame tra quark e gluoni può spezzarsi dando origine a una nuova forma di materia, il cosiddetto "quark-gluon plasma", che ricrea lo stato primordiale dell'Universo subito dopo il Big Bang.

La fisica adronica è un tipico campo dove l'interconnessione tra esperimenti e teoria gioca un ruolo cruciale. Sebbene sia comunemente accettato che la Quanto Cromo Dinamica (QCD), la formulazione matematica della teoria che descrive l'interazione forte tra quarks e gluoni sia corretta ad altissime energie, poco si sa del comportamento della QCD alle basse energie che caratterizzano la scala energetica della materia che ci circonda. Questo è un settore della fisica adronica dove la ricerca sperimentale si basa sugli sviluppi della teoria e, a sua volta, suggerisce nuove idee teoriche.

La stretta collaborazione tra teorici e sperimentali nello spartire nuove idee, procedure di analisi, proposte di nuovi esperimenti, è una delle forze trainanti della fisica adronica.

Il progetto HadronPhysics3, nel linguaggio della Commissione Europea, è una Integrating Activity (IA) del Settimo Programma Quadro dell'Unione Europea (FP7). Le Integrating Activities sono attività di supporto alle Infrastrutture di Ricerca, nel senso che hanno lo scopo di integrare, su scala europea, le principali Infrastrutture di Ricerca per promuoverne un uso e uno sviluppo coordinati. Accorpano, in un unico progetto, tre tipologie di attività: l'accesso transnazionale alle Infrastrutture, che rappresentano l'asse portante delle IA; l'attività di Networking; le Joint Research Activities (JRA). Tutte e tre le tipologie sono obbligatorie, aspettandosi effetti sinergici dalle tre diverse componenti. Le Integrating Activities sono il più potente strumento messo a disposizione delle comunità scientifiche da parte della Commissione Europea.

Le attività di Networking hanno l'obiettivo di sviluppare una "cultura di cooperazione" tra le Infrastrutture di Ricerca e tra le comunità scientifiche che vi operano, promuovendo collaborazioni tra esperti e tra teorici e sperimentali. In pratica, questo significa sviluppare e mantenere database comuni per l'analisi dei risultati sperimentali; effettuare studi di fattibilità di nuove strumentazioni metodologiche; formare gruppi di lavoro su tematiche correlate presso diverse Infrastrutture; stimolare studi teorici sui problemi più rilevanti e contribuire alla preparazione di nuovi esperimenti; contribuire alla disseminazione della conoscenza derivata dal progetto attraverso pubblicazioni, organizzazione di workshops, etc.

Le Joint Research Activities sono attività di ricerca e sviluppo svolte in modo coordinato tra diverse organizzazioni. Sono attività che la Commissione Europea finanzia per il loro carattere innovativo, e che, come tali, non sempre vengono supportate dalle agenzie nazionali.

Il progetto HadronPhysics3 promuove l'accesso transnazionale a cinque Infrastrutture

di Ricerca ed è strutturato in nove attività di Networking, più il management del progetto, ed in quattordici Joint Research Activities. Una stretta rete di legami di collaborazione scientifica con i maggiori Centri di Ricerca non-Europei caratterizza inoltre il progetto.

Il budget del progetto è pari a 9 milioni di euro su tre anni. Partecipano ad HadronPhysics3 48 Università e Istituti di Ricerca Europei appartenenti a 17 Stati Membri e Associati. A questi – i beneficiari del Consorzio – vanno i finanziamenti della Commissione. Altre 119 Istituzioni (da, in particolare, Russia, Cina, India, Giappone e Stati Uniti) partecipano alle attività senza ricevere finanziamenti europei. Complessivamente, HadronPhysics3 vede coinvolti circa 2500 scienziati da 35 Paesi, corrispondenti a un impegno globale di circa 730 ricercatori full-time equivalent (FTE).

Le cinque Infrastrutture di Ricerca che partecipano al progetto costituiscono un set completo di attività sperimentali, teoriche e di calcolo in fisica adronica. In quattro di esse si effettuano esperimenti dedicati allo studio della struttura interna degli adroni e delle proprietà della forza forte, utilizzando vari tipi di fasci: leptoni, fotoni reali, kaoni, protoni, ioni pesanti.

La quinta Infrastruttura, il centro ECT* di Trento, offre l'ambiente ideale per il lavoro teorico, nonché per l'organizzazione di workshops di carattere sia teorico, sia sperimentale. Nello specifico, le Infrastrutture di Ricerca di HadronPhysics3 sono:

- il microtrone MAMI di Mainz, dotato di fasci di elettroni polarizzati e non-polarizzati, con la possibilità di operare ad alto duty cycle. La qualità dei fasci di MAMI trova uguali al mondo solo a CEBAF al Jefferson Laboratory, ad energie più alte;
- il GSI, una facility con fasci di ioni e di pioni, unica in Europa, con apparati sperimentali di altissima performance;
- il sincrotrone e storage ring COSY a Jülich,

dotato di fasci polarizzati e non-polarizzati di protoni e deutoni;

- i Laboratori Nazionali di Frascati, il più antico e più grande laboratorio dell'INFN per ricerche nel campo della fisica adronica, con il collider e^+e^- DAΦNE, che fornisce fasci di antikaoni unici al mondo in termini di purezza e bassa energia;
- il Centro Europeo per Studi Teorici in Fisica Nucleare e aree collegate (ECT*) fornisce un ampio spettro di attività che interessano una comunità internazionale che lavora in fisica nucleare nel senso più ampio del termine. Esso include: fisica nucleare a bassa energia (struttura e reazioni); QCD; fisica adronica; quark-gluon plasma. Ed inoltre studi in astrofisica, materia condensata, teoria a molti corpi, etc.

Tra le nove attività di Networking, tre networks si occupano dell'interpretazione teorica e dei modelli fenomenologici dei risultati sperimentali:

- nel campo della fisica delle reazioni con ioni ultrarelativistici,
- nel campo della QCD non perturbativa,
- nelle teorie QCD su reticolo.

Tre networks si avvalgono dei risultati del lavoro comune di gruppi teorici e sperimentali:

- nello studio della produzione e del decadimento di mesoni leggeri,
- nella fisica degli ipernuclei,
- nella fisica di stranezza attraverso reazioni di antikaoni su nucleoni e nuclei.

Due networks si occupano degli esperimenti presso le due maggiori facilities di fisica adronica, LHC e FAIR:

- sulla produzione di quarkonia e di "open heavy flavours" a LHC,
- sugli sviluppi comuni in hardware e software dei due maggiori esperimenti a FAIR: PANDA e CBM.

Infine, un network si occupa della preparazione di esperimenti di fisica adronica nel futuro attraverso uno studio di fattibilità di un collider elettrone-nucleone con fasci polarizzati.

Le quattordici attività di ricerca e sviluppo tecnico (RTD) - Joint Research Activities - possono essere raggruppate in 4 categorie:

- I) strumentazione innovativa
- II) bersagli di nuova concezione
- III) produzione di antiprotoni polarizzati
- IV) sviluppi sperimentali specifici.

I) **Strumentazione innovativa** – Esperimenti futuri in fisica adronica richiedono rivelatori in grado di operare a velocità di conteggio e densità di tracce estremamente alte. Nello stesso tempo, i rivelatori devono avere eccellenti risoluzioni in tempo e posizione, così come spessori ridotti di materiale per ridurre lo scattering multiplo. Le tecnologie in studio nei JRA di HadronPhysics3 comprendono pertanto, in particolare, rivelatori di particelle al diamante, rivelatori di fotoni che utilizzano nanotecnologie, fibre scintillanti inorganiche, rivelatori a grande area e massa ridotta, etc.

II) **Bersagli di nuova concezione** – Nuove tecnologie riguardano lo sviluppo di bersagli polarizzati e nonpolarizzati per esperimenti con fasci interni e bersagli solidi polarizzati per esperimenti con fasci esterni.

III) **Produzione di antiprotoni polarizzati** – La

tecnica di polarizzare antiprotoni è in studio a COSY e in futuro ad AD al CERN. L'ottenimento di antiprotoni polarizzati è prerequisito fondamentale per lo studio della struttura tridimensionale del nucleone a FAIR.

IV) **Sviluppi sperimentali specifici** – Tali sviluppi sperimentali concernono le cosiddette "hard exclusive reactions", che sono la chiave degli attuali e futuri studi per l'esplorazione della struttura degli adroni, e lo studio del "jet quenching" in collisioni di ioni pesanti ultrarelativistici.

In conclusione, le attività di accesso transnazionale, di networking e di ricerca e sviluppo di HadronPhysics3 implicano e sottolineano alcuni aspetti fondamentali e caratterizzanti:

- la collaborazione tra scienziati e la cooperazione tra esperti;
- il grande potenziale utilizzabile per applicazioni nel campo medico, dell'informazione, nelle ricerche spaziali, in biologia, in scienza dei materiali, etc., come naturale conseguenza delle sfide estreme poste al R&D dei rivelatori del futuro;
- la possibilità di carriera per i giovani ricercatori, trattenuti in Europa dai contratti EC, evitando la fuga di cervelli oltremarina.

Una comunità di 2500 ricercatori provenienti da 170 istituzioni di tutta Europa e di altri Paesi si può ben definire un buon esempio di "strutturazione". HadronPhysics3 è il maggiore strumento per realizzarla.

Carlo Guaraldo
INFN - Laboratori Nazionali di Frascati



NOVITÀ EDITORIALE

In occasione del tricentenario della nascita dell'illustre scienziata bolognese Laura Bassi, la Società Italiana di Fisica e la Società Italiana di Storia della Scienza hanno inteso renderle omaggio con la presente pubblicazione.

Prima donna al mondo ad ottenere una laurea dottorale e una cattedra universitaria in fisica e prima socia dell'Accademia dell'Istituto delle Scienze, privilegi allora riservati ai soli uomini, si può ben dire che ha stabilito un primato nella scienza del settecento.

Per la sua unicità, il suo insegnamento innovativo nonché la sua variegata competenza scientifica costituì per anni un polo d'attrazione per scienziati italiani e stranieri e per gli studenti che frequentarono il suo laboratorio di fisica privato costruito assieme al marito-scienziato Giuseppe Veratti.

Il libro raccoglie scritti di vari esperti di storia della scienza che inquadrano l'epoca storica e i personaggi che hanno gravitato attorno all'eccezionale figura di Laura Bassi, emblema come scienziata e primato come donna.

Prodotto e distribuito in collaborazione con Editrice Compositori.

DARK LADIES

Sebbene costituisca quasi l'85% della materia dell'Universo, non si vede e non sappiamo di cosa sia fatta: parliamo della "dark matter", materia che non assorbe né emette radiazione, di cui però si misurano gli effetti.

La presenza della materia oscura fu ipotizzata la prima volta nel 1933 dall'astronomo Fritz Zwicky quando notò una discrepanza tra le misure di massa ottenute dalla luminosità degli ammassi di galassie e quelle ottenute, indipendentemente, dalla velocità. La deduzione era logica: doveva esserci altra materia nascosta tra le stelle.

La materia oscura non è l'unica "matter" invisibile con cui la ricerca deve fare i conti. Come nell'Universo anche nella società esiste una componente "mancante" di cui non conosciamo la natura ma risentiamo gli effetti: è il cosiddetto "soffitto di cristallo", una barriera, apparentemente impercettibile, che impedisce alle ricercatrici di accedere a posizioni di responsabilità e di leadership. La materia di cui è costituito questo muro invisibile è da anni oggetto di studio per la "Science and Society", quel settore che indaga la rete (complessa) di interazioni tra istituzioni scientifiche e società civile. Molte ricerche, come quelle realizzate dalla Direzione Generale per la Ricerca e l'Innovazione della Commissione Europea¹, mostrano come la differenza di genere nelle carriere accademiche disegni una forbice che si allarga lungo la progressione della professione: man mano che si avanza – procedendo dalle posizioni di studente verso quelle di ricercatore, professore associato, professore ordinario – la curva blu sale verso l'alto, fino a occupare l'80-90% delle cariche, mentre la curva rosa va inesorabilmente verso il basso, raggiungendo cifre del 10-20%.

La mancanza delle donne ai vertici degli organi decisionali è un fenomeno noto nella politica come nell'economia, ma può stranire osservato nella scienza, ritenuta per lo più oggettiva e neutrale, quindi estranea a episodi di discriminazione. Eppure, anche nella ricerca scientifica capacità e impegno non sono sempre sufficienti per ottenere corrispondenti meriti e gratificazioni. Siamo in molte nei dipartimenti di scienze che, a vario titolo, cerchiamo di rendere

pubblica questa realtà, nella convinzione che il progresso nella ricerca sia da costruire oltre questo tetto di cristallo. È su questi presupposti che, qualche tempo fa, è nata la collaborazione con Giuliana Fiorillo, ricercatrice astroparticellare e professoressa di Fisica dell'Università di Napoli Federico II, che tra un giro di bulloni ai rivelatori e una simulazione, si interessa anche di questioni di genere.

"Fortunatamente esistono anche eccezioni che confermano la regola" – mi fa notare Giuliana. "Ne ritroviamo una proprio in uno dei settori di frontiera, e tra i più affascinanti, della ricerca internazionale". Quella sulla dark matter appunto, il cui dibattito è per lo più polarizzato dai risultati di due progetti, entrambi guidati da donne: **Elena Aprile** e **Rita Bernabei**.

Una pagina di scienza che, ancor più per la sua anomalia di genere, vale la pena raccontare.

L'enigma della materia oscura

"L'entità della scoperta di Zwicky fu compresa solo qualche decennio più tardi – mi racconta Giuliana – quando, negli anni Settanta, Vera Rubin raccolse un'enorme quantità di dati sulle velocità di rotazione delle stelle nelle galassie a spirale". Grazie a questo importante lavoro fu possibile capire che è proprio il campo gravitazionale della dark matter a dare stabilità alle strutture cosmiche, Via Lattea compresa.

Da allora sono state raccolte molte evidenze sperimentali sull'esistenza della dark matter, e dagli anni Novanta in poi, sono stati sviluppati programmi di ricerca ed esperimenti per identificare la materia oscura nello spazio: palloni aerostatici e satelliti, telescopi Cherenkov, osservatori terrestri e laboratori sotterranei sono le infrastrutture che ospitano gli esperimenti alla ricerca delle particelle oscure.

"Nonostante tutti questi sforzi l'ingrediente fondamentale della materia oscura resta un enigma tutto da risolvere. Grazie alle misure del satellite WMAP che dal 2001 al 2010 dallo spazio ha inviato informazioni sempre più accurate sulla radiazione cosmica di fondo, oggi è noto che la materia barionica costituisce solo il 4,6% del totale di materia e energia nell'Universo, il resto è materia oscura per il 22,7% ed energia oscura, per il 72,8%. La materia oscura, quindi, è cinque volte più abbondante di quella ordinaria".

L'ipotesi più accreditata è che l'alone di materia oscura che oggi osserviamo intorno alla nostra e altre galassie sia una sorta di relitto del Big Bang. I fisici sostengono infatti che la dark matter sia composta da particelle massive

debolmente interagenti che facevano parte del plasma primordiale, le cosiddette WIMP (Weakly Interacting Massive Particles). Durante l'espansione e il raffreddamento dell'Universo, queste particelle si sarebbero separate dalle altre per "congelarsi" in quantità rimaste per lo più costanti in quattordici miliardi di anni; le WIMP, inoltre, sarebbero divenute il seme intorno cui si sarebbero sviluppate le strutture cosmiche.

Sebbene questa teoria sia largamente condivisa dalla comunità scientifica, esiste una divisione profonda sull'interpretazione dei dati provenienti dagli esperimenti.

La sfida tra le dame delle WIMP

Elena Aprile, fisica napoletana oggi professore alla Columbia University di New York, è responsabile di XENON, uno degli esperimenti più raffinati e sensibili nella ricerca della dark matter. Realizzato nei Laboratori del Gran Sasso sotto la copertura di 1400 metri di roccia che riparano i rivelatori dalla fitta pioggia di raggi cosmici in cui siamo immersi (riducendola di circa un milione di volte), XENON100 utilizza circa 160 kg di xenon liquido a una temperatura di 110 gradi sotto lo zero. Quando una WIMP dell'alone galattico, nel quale la Terra si muove insieme al Sistema Solare, urta un nucleo del gas nobile vengono emessi segnali di luce catturati poi dai fotomoltiplicatori. Inaugurato nel 2007 con XENON10, una versione più piccola rispetto all'attuale, oggi questo esperimento si avvale di una collaborazione di 60 scienziati e 14 istituzioni scientifiche (statunitensi, cinesi, francesi, tedesche, israeliane, olandesi, portoghesi e svizzere).

"Il team di ricercatori guidato da Aprile ha esplorato gran parte della regione dello spazio definito dai valori di massa e sezione d'urto ritenuto interessante dai modelli teorici: risultati che hanno creato un grande contributo per l'avanzamento della ricerca astroparticellare".

Rita Bernabei, fisica romana e professore di Fisica all'Università di Roma Tre, è responsabile di un altro progetto condotto nei laboratori del Gran Sasso: DAMA, un esperimento dal cuore di cristallo. Per catturare le WIMP, DAMA (Dark Matter) utilizza dei cristalli di ioduro di sodio: DAMA/NaI, costituito da 9 cristalli dal peso totale di circa 100 kg, è stato operativo fino a luglio del 2002, mentre il suo successore, DAMA/LIBRA, fatto di 25 cristalli per un totale di circa 250 kg lavora dal 2003. I cristalli scintillatori sono sensibili a particelle di materia oscura di piccola e di grande massa, e a diverse possibili modalità di interazione con la materia.

¹ Vedere ad esempio *Women and science. Excellence and Innovation - Gender equality in science* (2005) http://ec.europa.eu/research/science-society/pdf/documents_women_sec_en.pdf

“Nel 1998 Bernabei e i ricercatori di DAMA affermarono di aver trovato la prima indicazione sperimentale dell'esistenza delle particelle di materia oscura nell'alone galattico. Dopo ben tredici anni di osservazioni, il segnale registrato mostra la struttura periodica prevista considerando le variazioni annuali della velocità delle WIMP dell'alone galattico rispetto alla Terra: la significanza statistica sfiora ormai le 9 deviazioni standard”.

I risultati di DAMA sono in accordo con le previsioni di diversi modelli teorici peccato però, che in molti di questi, non siano compatibili con i risultati di XENON: DAMA vede le WIMP proprio dove secondo XENON non ce ne dovrebbero essere. Da qui la disputa.

Nel tempo, il confronto scientifico tra questi gruppi ha assunto toni piuttosto accesi. In particolare nel 2010, quando Elena Aprile rese noti risultati sempre più stringenti per la ricerca delle WIMP dando un'ulteriore scossone alla comunità di fisici del frangente opposto, la reazione fu spropositata: Juan Collar, responsabile dell'esperimento CoGeNT condotto nella miniera di Soudan in Minnesota, schierato con DAMA, mosse delle critiche al team di XENON che furono riportate dalle più importanti testate giornalistiche mondiali.

Intanto nei laboratori del Gran Sasso un altro esperimento, CRESST, ha raccolto segnali che potrebbero essere attribuiti alla dark matter ma la cui interpretazione risulta difficile data l'assenza di un quadro teorico che possa conciliare tutti i risultati, mentre altri sono già in progettazione.

“Entro la fine dell'anno sarà pronto DARKSIDE, un esperimento basato su una tecnica simile a quella di XENON e dotato di una capacità eccezionale di distinguere tra i segnali generati dalle WIMP e quelli originati dalla radioattività ambientale, possibile sorgente di fondo”.

Tra quali valori di massa e sezione d'urto si nasconde la materia oscura, a quale esperimento e a quale scienziata la ricerca darà ragione, sarà il tempo a stabilirlo.

L'anomalia di genere della dark matter

Di questa “dark story” le leader di XENON e DAMA sono le protagoniste ma non sono certo le uniche “ladies”. Altri gruppi di ricerca attivi nel campo sono diretti da donne e, ad esempio, la direzione dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, il più importante laboratorio al mondo per le misure di dark matter, è affidata a una scienziata, Lucia Votano.

“L'emergere delle donne nella ricerca della materia oscura è solo un caso, frutto di

coincidenze fortuite, o questo campo ha delle caratteristiche capaci di dare il giusto merito anche all'ingegno femminile?”

Il successo delle dark ladies è certamente da ricercare in più fattori. “Nella tenacia di queste donne, per esempio, ma anche nelle motivazioni che le hanno spinte ad avvicinarsi a un filone di ricerca in cui, oltre agli aspetti di innovazione tecnologica, è determinante l'interesse per questioni fondamentali della fisica, come l'origine del cosmo. I primi esperimenti di dark matter inoltre, sono nati come progetti di ricerca ‘curiosity driven’ e si sono sviluppati senza la necessità di grandi finanziamenti e sostegni esterni” – conclude Giuliana.

“È possibile che questi fattori abbiano contribuito ad abbattere le barriere di cristallo, e con queste premesse, indipendentemente dal genere, siano le capacità di iniziativa e il talento a poter essere premiati?” – ci domandiamo. La risposta non è certo banale, ma è anche tra i successi e gli esempi positivi che si può cercare il perché del permanere delle discriminazioni di genere nella ricerca e, soprattutto, tentare di portare alla luce anche quella “pink science” che ancora non brilla.

Illenia Picardi
Università “Federico II”, Napoli

Marisa Michelini eletta Presidente del GIREP



Marisa Michelini professore ordinario di didattica della fisica presso la Facoltà di Scienze della Formazione dell'Università di Udine e membro della Commissione Didattica Permanente della SIF, è stata eletta nuovo presidente del GIREP (Groupe International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique/ International Research Group on Physics Teaching). L'elezione si è svolta durante la World Conference on Physics Education (WCPE 2012¹) che si è tenuta ad Istanbul, dal 1 al 6 luglio. GIREP² è un'organizzazione internazionale, fondata nel 1966, aperta a coloro che intendono occuparsi di migliorare l'insegnamento della fisica. Fin dalla sua fondazione ha organizzato incontri internazionali, trovando sponsorizzazioni da Università, Ministero della Pubblica Istruzione, UNESCO, ESA e ha collaborato con numerose altre organizzazioni nazionali e internazionali. GIREP è ora un gruppo che lavora con diversi enti per creare conferenze, con la funzione primaria, invariata dalla sua fondazione, di organizzare incontri internazionali per favorire il rinnovamento della didattica della fisica.

¹ <http://www.wcpe2012.org/>

² <http://www.girep.org/>

Una ricercatrice INFN alla guida di una grande infrastruttura di ricerca spagnola



Caterina Biscari, ricercatrice dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, è stata nominata Direttore del Laboratorio di Luce di Sincrotrone CELLS-ALBA di Barcellona¹, tra le maggiori infrastrutture di ricerca della Spagna, dove prenderà servizio dal settembre 2012. Biscari è un esperto riconosciuto a livello internazionale di acceleratori di particelle per la ricerca scientifica e per le applicazioni mediche e ha lavorato al CERN di Ginevra e al CNAO di Pavia il cui acceleratore è stato realizzato con il contributo fondamentale dell'INFN. Dal 1999 è Dirigente Tecnologo presso i Laboratori di Frascati dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare dove si occupa di fisica degli acceleratori. Caterina Biscari è Fellow dell'European Physical Society, membro del Machine Advisory Committee dell'acceleratore LHC del CERN ed è stata invitata a far parte di vari Comitati Scientifici internazionali, tra cui quello dell'Helmholtz Association in Germania.

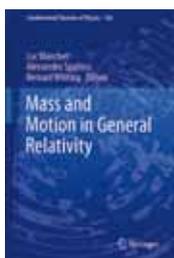
¹ <http://www.cells.es>

Riflessioni sui parametri ANVUR

Da decenni la nostra comunità di Fisici operanti nel settore della Fisica Sperimentale delle Interazioni Fondamentali (02/A1) ci vede divisi in due sottoinsiemi non certo omogenei né per numero dei soggetti né per numero delle pubblicazioni annuali. Quando si è membri delle grandi Collaborazioni internazionali si fa parte di un sottoinsieme che è di almeno un ordine di grandezza maggiore quanto a soggetti coinvolti e di due ordini di grandezza maggiore per quanto concerne il numero di pubblicazioni annuali. I tre parametri che l'ANVUR utilizzerà e di cui determinerà le mediane delle distribuzioni di cui almeno due devono essere poi positivi, sono chiaramente ed "a priori" diversi per i due sottoinsiemi di soggetti appartenenti o meno alle grandi collaborazioni internazionali. Ad aggravare questo "profilo di incostituzionalità" del Regolamento di cui sopra, interviene, in primis, la banale considerazione che NON si giudica quindi la validità scientifica della singola persona, come suo diritto, ma in quanto appartenente, o meno, ad uno piuttosto che all'altro dei sottoinsiemi. "In secundis" i tre parametri NON sono scorrelati ma profondamente correlati. Infine, ne vengono colpite quelle piccole realtà che hanno autonomia scientifica e che sono inserite in Istituzioni che hanno impiegato decenni per costruirle. Non si vede come possano poi queste istituzioni utilizzare risorse (per loro consistenti) in posti di professore di prima o seconda fascia a tempo indeterminato per soggetti che hanno pluridecennali attività in realtà completamente diverse. Perché vi è "chiaro profilo di incostituzionalità" nelle modalità d'uso dei parametri e criteri di cui al Regolamento da poco reso noto: quanto qui asserito infatti si coniuga con quanto si otterrebbe se per la Provincia di Milano, ad esempio, si decidesse di far votare solo i contribuenti che creano, "a scalare", il 50% della "ricchezza" di quella Provincia. Sapendo per giunta "a priori" che la popolazione della Provincia di cui sopra non è assolutamente omogenea. Un tale regolamento verrebbe immediatamente impugnato.

E. Lodi Rizzini
Università di Brescia

Opinioni Online First
5 luglio 2012



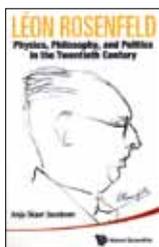
Pubblicata online
24 aprile 2012

L. BLANCHET, A. SPALLICCI AND B. WHITING (EDITORS)
MASS AND MOTION IN GENERAL RELATIVITY

School on Mass, Orléans,
23-25 June 2008

Fundamental Theories of Physics vol. 162,
Springer, Berlin, 2011
pp. XVIII + 624, € 145,55

Recensione di
L. Lusanna



Pubblicata online
7 maggio 2012

A. S. JACOBSEN

LÉON ROSENFELD

PHYSICS, PHILOSOPHY, AND POLITICS IN THE TWENTIETH CENTURY

World Scientific, Singapore, 2012

pp. IX + 354; \$81.00
ISBN 978-9-814-307819

Recensione di
Amand A. Lucas



Pubblicata online
15 maggio 2012

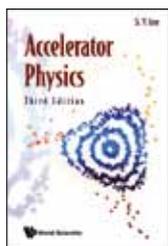
M. FRAIRE E A. RIZZI

ANALISI DEI DATI PER IL DATA MINING

Carocci Editore, Roma, 2011

pp. 414 € 41,00

Recensione di
R. Habel, M. Pallotta



Pubblicata online
8 giugno 2012

S. Y. LEE

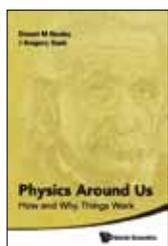
ACCELERATOR PHYSICS

THIRD EDITION

World Scientific, Singapore, 2011

pp. XX + 533, \$101.99
ISBN 978-9-814-37494-1

Recensione di
G. Bellomo



Pubblicata online
12 giugno 2012

E. M. HENLEY AND J. G. DASH

PHYSICS AROUND US. HOW AND WHY THINGS WORK

World Scientific, Singapore, 2012

pp. XIX + 361, \$34.00

Testo illustrativo di diversi aspetti di Fisica, anche tra i più recenti, utile per particolare esperienza di percorso didattico-formativo e come compendio per non-specialisti con salutare interesse scientifico-culturale per la disciplina.

Recensione di
A. Rigamonti

BRILLANTI PROSPETTIVE PER LA FISICA DEI NEUTRINI

F. P. An *et al.*, *Observation of electron-antineutrino disappearance at Daya Bay*. *Physical Review Letters*, 108 (2012) 171803

J. K. Ahn *et al.*, *Observation of Reactor Electron Antineutrino Disappearance in the RENO Experiment*. *Physical Review Letters*, 108 (2012) 191802

Sappiamo da parecchi anni che i neutrini di "sapore" definito, ν_e , ν_μ e ν_τ non sono gli stati di massa definita, ma ne sono combinazioni lineari, e si trasformano l'uno nell'altro se si dà loro il tempo di farlo (oscillazioni e cambio di sapore nella materia). Lo spettro di massa è composto di un doppietto ed un singoletto. Sino all'inizio di quest'anno conoscevamo solo due dei tre angoli di mescolamento. Del terzo, il più piccolo, si aveva un limite superiore. Qualche indicazione cominciava ad apparire, ma solo a meno di tre deviazioni standard.

Questa primavera due esperimenti hanno pubblicato in rapida successione evidenza conclusiva per il parametro di mescolamento mancante. Esso vale circa 9° , appena sotto il limite precedente, ed è già noto con un'accuratezza del 13%. Entrambi gli esperimenti, uno in Cina ed uno in Corea, misurano il flusso di antineutrini elettronici da centrali nucleari, con rivelatori (6 Daya Bay, 2 RENO) a differenti distanze da essi (esperimenti "di scomparsa"). I rivelatori distanti hanno misurato flussi sostanzialmente minori di quanto aspettato, sulla base delle misure dei rivelatori vicini, in assenza di oscillazioni. Un terzo esperimento, T2K in Giappone, sta prendendo dati su di un fascio di neutrini muonici lungo 295 km, in cerca della comparsa di neutrini elettronici e ha presentato risultati consistenti con gli esperimenti di scomparsa in Giugno alla conferenza Neutrino 2012.

Rimangono ancora da determinare la scala assoluta delle masse, il segno della differenza tra la massa del singoletto e del doppietto e il valore della fase che potrebbe portare a violazione di CP.

Ora sappiamo che nessuno degli angoli di mescolamento è piccolo e possiamo ottimizzare le prossime fasi della ricerca con esperimenti mirati a ciascuno dei tre obiettivi.

ICECUBE NON VEDE NEUTRINI DA LAMPI GAMMA

R. Abbasi *et al.*, *An absence of neutrinos associated with cosmic-ray acceleration in γ -ray bursts*.

Nature, 484 (2012) 351

Fenomeni astrofisici d'altissima energia sono richiesti per accelerare raggi cosmici ad energie maggiori dell'EeV ($=10^{18}$ eV). I lampi gamma (GRB) sono stati proposti tra le possibili sorgenti. Nel modello della GRB-fireball, l'accelerazione dei raggi cosmici è accompagnata da neutrini prodotti nei decadimenti dei pioni creati nelle interazioni di alta energia tra protoni cosmici e raggi gamma.

Il telescopio per neutrini IceCube installato gradualmente negli ultimi anni, per un volume totale di circa un chilometro cubo, nei ghiacci

del Polo Sud è il primo strumento ad avere la sensibilità sufficiente per una verifica della previsione. Questa è stata raggiunta nelle fasi finali del completamento, consentendo di determinare un limite superiore del flusso di neutrini di alta energia associati con i GRB che è almeno un fattore 3,7 al di sotto delle previsioni del citato modello. Se confermato, questo implicherebbe che o i GRB non sono le sole sorgenti di raggi cosmici di energie maggiori dell'EeV o che l'efficienza di produzione di neutrini è molto minore del previsto.

LA SCOPERTA DI UNA QUASI-PARTICELLA, SPINORE DI MAJORANA

V. Mourik *et al.*, *Signatures of Majorana fermions in hybrid superconductor-semiconductor nanowire devices*.

Science, 336 (2012) 1003

Nel 1937 Ettore Majorana scrisse un famoso articolo: "Teoria simmetrica di elettrone e positrone", che conteneva un'equazione relativistica per particelle di spin $\frac{1}{2}$ alternativa a quella di Dirac. Il bispinore soluzione dell'equazione di Dirac ha, come ben noto, 4 componenti corrispondenti ai due stati di elicità della particella e dell'antiparticella. Quello di Majorana ne ha due soli, corrispondenti agli stati di elicità di una particella che è identica alla sua antiparticella. Majorana ipotizzò che i neutrini potessero avere queste caratteristiche, ed è ben possibile sia così, ma non lo sappiamo ancora.

La materia è composta di nuclei ed elettroni le cui proprietà sono ben comprese e descritte dalle equazioni della meccanica quantistica. La fisica della materia condensata descrive peraltro molti fenomeni con le "quasi-particelle". L'esempio più antico di quasi-particella è il fonone, introdotto da Einstein nel 1907 (*A. Einstein, Ann. Phys.*, 22 (1907) 180). In analogia al fotone, il campo delle vibrazioni termiche di un cristallo è quantizzato. E i corrispondenti quanti, i fononi, si propagano, interagiscono tra loro, decadono quasi fossero delle particelle. Nel tempo si scopersero molti tipi di quasi particelle, diversi a seconda delle caratteristiche del materiale nel quale vivono.

Le quasi-particelle differiscono tra loro, e dalle vere particelle, per la relazione di dispersione, la relazione tra vettore d'onda \mathbf{k} e pulsazione ω , cioè in maniera equivalente, tra quantità di moto \mathbf{p} e energia E . Nel caso delle particelle libere, conviene ricordare, la relazione è $E^2 - (pc)^2 = A$, dove A è una costante relativisticamente invariante. Questo permette di definire la massa m come $mc^2 = \sqrt{A}$. Per le quasi-particelle non si può in generale definire una massa, perché la relazione di dispersione non lo permette.

I "modi di Majorana" di una quasi-particella erano stati previsti teoricamente. Nel caso di una particella, lo spin dà la possibilità di coppie di livelli energetici, e delle corrispondenti funzioni d'onda, con contributo opposto del termine spin-orbita. Mourik *et al.* utilizzano un nanofilo unidimensionale fatto di materiale semiconduttore con forte accoppiamento spin-orbita, al quale è applicato un campo magnetico parallelamente ad esso ed è accoppiato con un normale superconduttore.

La teoria della superconduttività tratta le

eccitazioni (le quasi particelle del caso) di tipo elettronico e di tipo lacuna allo stesso modo, con energie di segno opposto. Le eccitazioni appaiono come coppie quasi-particella quasi-antiparticella di energia $\pm E$ e spin opposti. Se le due sono uguali, le energie di entrambi i membri della coppia devono essere uguali e in pari tempo opposti, quindi $E = 0$. Questa condizione è necessaria, ma non sufficiente, per i modi di Majorana.

L'articolo mostra come gli autori siano riusciti a rivelare la presenza di stati con le tutte le caratteristiche dei modi di Majorana, anche se non si tratta, ovviamente, delle "vere" particelle di Majorana, che rimangono da scoprire.

COME SCUOTERE UN ELETRONE FUORI DA UN ATOMO

C. Couratin *et al.*, *First measurement of pure electron shakeoff in the β decay of trapped ${}^6\text{He}^+$ ions*.

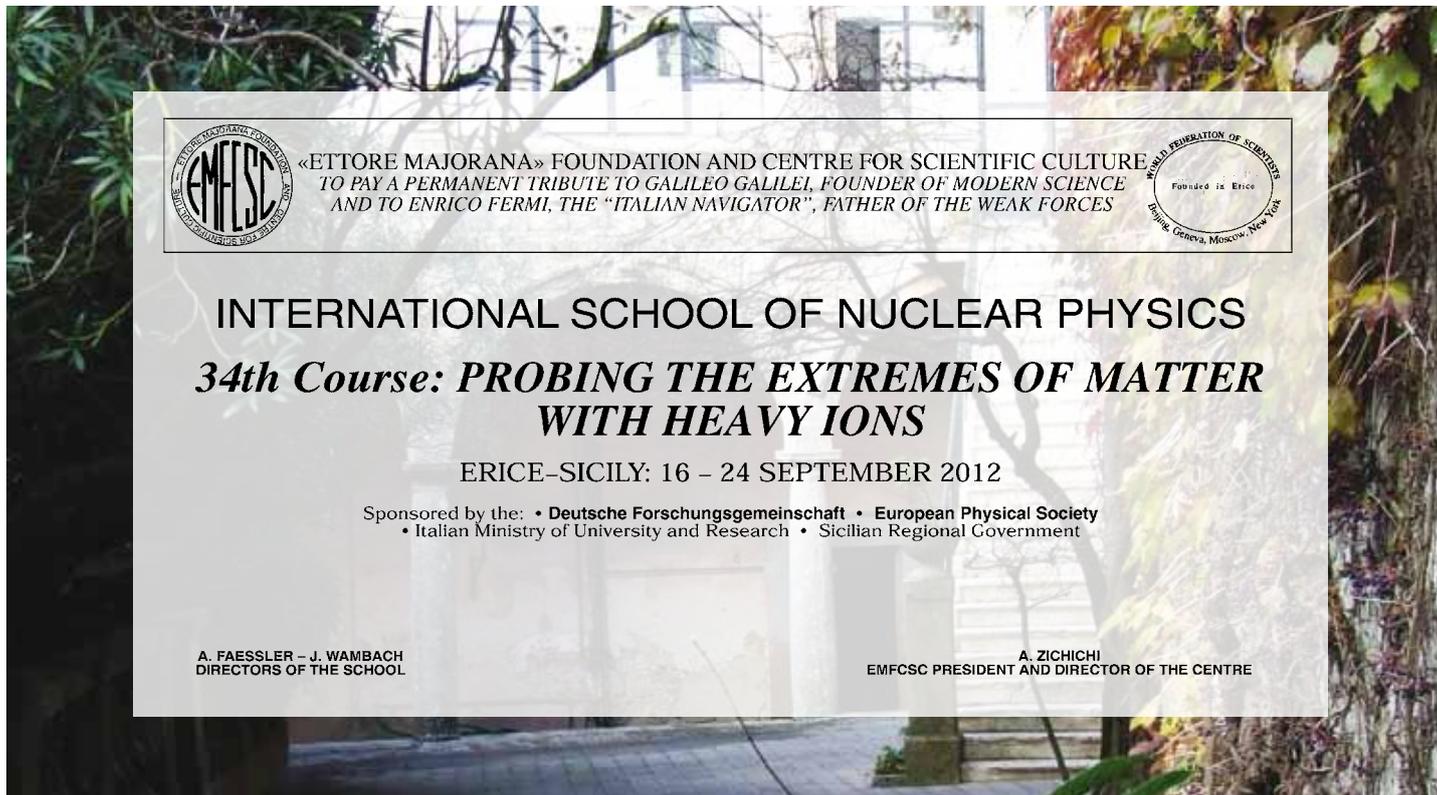
Physical Review Letters, 108 (2012) 243201

Il processo atomico dell'elettron shake-off consiste nell'eccitazione di un elettrone legato dell'atomo nel continuo o in un nuovo livello a causa di un'improvvisa variazione del potenziale centrale. Quest'ultima può essere causata, tra l'altro, da un decadimento β del nucleo.

Le probabilità di questi processi si possono calcolare con buona accuratezza se le seguenti condizioni sono soddisfatte: 1. la mutazione del potenziale è rapida, 2. l'elettrone "scosso" si trova in uno stato idrogenoide non perturbato da interazione con altri elettroni, 3. non ci sono processi che possano portare allo stesso stato finale. La prima condizione è ben soddisfatta dai decadimenti β nei quali la variazione del potenziale centrale avviene nel tempo impiegato, dell'ordine di 10^{-18} s, dalla particella β ad attraversare la nuvola elettronica dell'atomo, ma solo alcuni atomi soddisfano le altre condizioni. Tra le specie radioattive con un solo elettrone attivo, come gli ioni ${}^6\text{He}^+$, le correlazioni elettrone-elettrone e i processi secondari di rilassamento sono assenti, lasciando due soli meccanismi per lo shake-off. Lo stato dello ione figlio, litio doppiamente ionizzato ${}^6\text{Li}^{++}$, si può descrivere con una semplice equazione meccanico quantistica.

L'esperimento fu condotto nel laboratorio di GANIL in Francia. Gli ioni radioattivi di ${}^6\text{He}$ furono prodotti al sistema fascio-bersaglio SPIRAL, decelerati da una radiofrequenza frenante e iniettati in una trappola di Paul. Per ogni evento rivelato si misurarono energia e posizione della particella β , posizione e tempo di volo del rinculo la posizione dell'evento nel ciclo di intrappolamento e la fase della rf della trappola.

Il risultato finale è la misura della probabilità di shake-off di un elettrone dallo ione ${}^6\text{He}^+$ in seguito a decadimento beta del nucleo, con un'accuratezza relativa di 1,5%. Il valore trovato è in perfetto accordo con il calcolo teorico, reso semplice ed affidabile dalle particolari condizioni del sistema (solo un elettrone legato attivo, variazione di potenziale molto rapida, assenza di processi interferenti, come l'emissione Auger).



 «ETTORE MAJORANA» FOUNDATION AND CENTRE FOR SCIENTIFIC CULTURE
TO PAY A PERMANENT TRIBUTE TO GALILEO GALILEI, FOUNDER OF MODERN SCIENCE
AND TO ENRICO FERMI, THE "ITALIAN NAVIGATOR", FATHER OF THE WEAK FORCES

 World Federation of Scientists
Founded in Erice
Erice, Geneva, Moscow, New York

INTERNATIONAL SCHOOL OF NUCLEAR PHYSICS

34th Course: PROBING THE EXTREMES OF MATTER WITH HEAVY IONS

ERICE-SICILY: 16 - 24 SEPTEMBER 2012

Sponsored by the: • Deutsche Forschungsgemeinschaft • European Physical Society
• Italian Ministry of University and Research • Sicilian Regional Government

A. FAESSLER - J. WAMBACH
DIRECTORS OF THE SCHOOL

A. ZICHICHI
EMFSC PRESIDENT AND DIRECTOR OF THE CENTRE

Comunicare Fisica 2012

raccontare la scoperta



50^o della pubblicazione di
Quantum Electrodynamics

8-12 ottobre 2012

Museo Regionale di Scienze Naturali
Torino

IV Edizione della Conferenza Nazionale
su Temi e Metodi della
Comunicazione della Fisica



<http://www.to.infn.it/CF2012>

CCP2012

Conference on Computational Physics
for Physics, Chemistry, Biology, Engineering,
and Related Academic Fields and Industrial Applications

Registration: May 1 - September 10, 2012; <http://www.ile.osaka-u.ac.jp/CCP2012/>

October 14-18, 2012
KOBE, JAPAN



K computer





L'INAF – Osservatorio Astronomico di Brera presenta:

I cieli di Brera

19 settembre
LE SUPERNOVAE E GLI ELEMENTI DELLA TAVOLA PERIODICA
Claudia Travaglio
INAF - Osservatorio Astronomico di Torino

17 ottobre
IL CIELO SOPRA BRERA: 250 ANNI DALLA FONDAZIONE DELL'OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI BRERA
Giovanni Pareschi
INAF - Osservatorio Astronomico di Brera

14 novembre
IL CIELO DI BRERA: 250 ANNI DI RILEVAMENTI METEO
Maurizio Mauerli
Università degli Studi di Milano

12 dicembre
COME CAVARSI LA?
STRATEGIE DI FUGA DAL MONDO TRA FANTASCIENZA E FANTASY
Andrea Bernabuzzi
Osservatorio Astronomico della Val D'Aosta

250 anniversario
Osservatorio Astronomico di
Brera

Conferenze pubbliche 2012
In collaborazione con
Istituto Lombardo Accademia
Scienze e Lettere

Ore 18:00
Sala delle Adunanze
Istituto Lombardo
Palazzo Brera
Via Brera, 28 – Milano
INGRESSO LIBERO

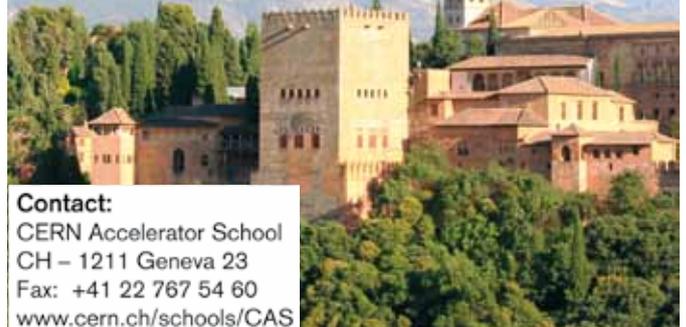
Tutti gli aggiornamenti
per le scuole e il
pubblico sul sito:
www.brera.inaf.it

CERN Accelerator School &
the University of Granada
will organise a course on

Introduction to Accelerator Physics

28 October - 9 November 2012
Granada, Spain

This basic introductory course will be of interest to young staff from laboratories, universities and companies manufacturing accelerator equipment. The course will focus on the basics of Accelerator Physics such as transverse and longitudinal dynamics, beam measurements and an introduction to multi-particle dynamics. A series of topical seminars and tutorials will complete the programme.



Contact:
CERN Accelerator School
CH – 1211 Geneva 23
Fax: +41 22 767 54 60
www.cern.ch/schools/CAS

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

2012

Nome _____
Name

Cognome _____
Surname

Luogo e data di nascita _____
Place and date of birth

Nazionalità _____
Nationality

a Istituto o Ente di appartenenza _____
Affiliation

b Indirizzo privato _____
Home address

Indirizzo e-mail _____
E-mail

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

Indirizzo a cui inviare il Bollettino della Società e la corrispondenza:
Address where Bulletin and Society communications are to be sent:

a

b

Firme leggibili dei Soci Presentatori (*)
Signatures of two introducing Members (*)

Nomi in stampatello e indirizzi e-mail
Names in block letters and e-mail addresses

1) _____

2) _____

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

La quota di iscrizione dovrà essere pagata dopo aver ricevuto comunicazione dell'accettazione della domanda. (*)
Applicants will have to pay the membership dues only AFTER having been informed by the Society of the acceptance of their application. (*)

(*) Eccetto per i Soci INVITATI (neolaureati triennali in Fisica) che usufruiscono di pre-associazione gratuita per due anni.
(*) Except for INVITED Members (newly graduated bachelors in Physics) who are granted free pre-membership for two years.

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

(**) Information: <http://en.sif.it/association>

Data _____
Date

Firma _____
Signature

Autorizzo il trattamento dei miei dati personali ai sensi del D.Lgs. 196/2003
I hereby authorize the treatment of my personal data according to the privacy law D.Lgs. 196/2003
sì/yes no

SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Per diventare Socio SIF:

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

Quote sociali 2012 della Società Italiana di Fisica

- Socio Individuale € 45,00
- Socio Junior al di sotto dei 30 anni € 25,00
- Socio Individuale anche membro di altra associazione scientifica relativa alla fisica (*) € 35,00
- Socio Collettivo € 260,00
- Socio Sostenitore (a partire da) € 310,00

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

Per diventare Socio EPS:

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

Quote sociali 2012 della Società Europea di Fisica per "Individual membership"

- Socio € 20,00
- Socio al di sotto dei 30 anni € 15,00
- Socio in pensione € 15,00
- Studente € 15,00
- Insegnante (pre-universitario) € 15,00

Modalità di pagamento della quota sociale alla SIF:

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

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

Compilare e spedire a :

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

Il sottoscritto: _____

Nato a: _____ il _____

Residente a: _____

Via: _____ n. _____

Documento di riconoscimento: _____ n. _____

Rilasciato da: _____ il _____

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

Scadenza _____

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

Scadenza _____

AUTORIZZA

La Società Italiana di Fisica

A prelevare dalla carta di credito sopra descritta

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

Data _____

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

sì no

Firma



MOTION CONTROL & OPTICS

MICOS ITALIA offre un'ampia selezione di componenti standard, ma anche sistemi su misura chiavi in mano con progettazione inclusa.



PI micos

robotica in alto vuoto, UHV, criogenia e spazio



micro posizionamento



ottica



MICOS ITALIA GmbH

Via San Protaso, 39_20010 Bareggio (MI)_Italy_Tel. +39 0290363318_info@micos.it

micos.it



Optica e micro posizionamento

NANOPOSITIONING - MOTION CONTROL PIEZOTECHNOLOGY



PILine® – Posizionatore con Motore Piezo

- + Design Compatto
- + Velocità fino a 400 mm/s
- + Risoluzione Sub-Micrometrica



NEXLINE® PiezoWalk® Precisione ed Elevata Capacità di Carico

- + Forza di spinta fino a 500 N
- + Accuratezza Sub-Nanometrica
- + Elevata Dinamica



Assi Motorizzati Flessibilità e Precisione

- + Corse fino a 300 mm
- + Capacità di Carico fino a 100 Kg.
- + Combinabili in XY e XYZ



Sistemi Piezoelettrici Multiasse

- + Sistema di guida a Flessione ad alta precisione
- + Piezo PICMA® per una maggiore Life Time
- + Elevata Dinamica

Nel corso degli ultimi quattro decenni PI è diventata il principale produttore nel settore del Micro e Nano Posizionamento. Tutte le tecnologie chiave vengono sviluppate internamente. Ogni fase, dalla progettazione fino alla spedizione può quindi essere controllato.

Grazie alle sue numerose filiali PI è in grado di soddisfare tempestivamente le richieste dei propri clienti in diversi settori Hi-Tech.

Per informazioni: info@pionline.it - www.pionline.it



Strumenti e componenti per la ricerca
WWW.FLAMARWEB.COM

distributore per l'Italia di:
FEINMESS

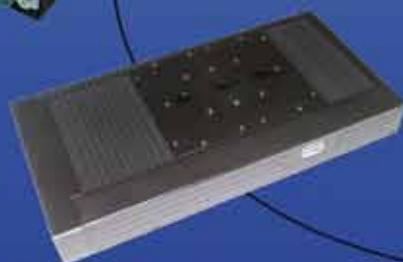
DT105 Stage di rotazione
con motore piezo



PICO STAGE: sistema XY
ad alta portata



PMT160: Traslatore lineare
ad alta precisione



KDT180 : traslatore XY compatto



Sistemi piezo per
nanoposizionamento



Sistemi di traslazione
e rotazione micrometrica



Sistemi isolamento
dalle vibrazioni



analisi superfici,
tribometri, nanoindentazione



Optomeccanica



Componenti per il vuoto



Microscopia AFM/SPM

FLAMAR di Claudio Bellotti - Via Manzoni, 28 20021 Baranzate (MI)
tel.02.3652.4556 - fax 02.365.5244 - claudio.bellotti@flamarweb.com



Fast Electronics *for fast signals*

Digitizer Series

761 10 bit 4 GS/s Waveform Digitizer

VME/V1761 (2ch), Desktop/DT5761 (1ch), NIM/N6761 (1ch)

751 10 bit 2 GS/s (interleaved) - 1 GS/s Waveform Digitizer

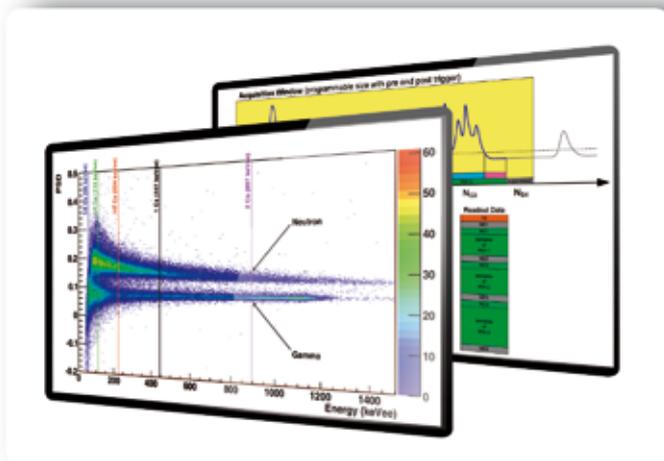
VME/V1751 (4-8ch), Desktop/DT5751(2-4ch), NIM/N6751 (2-4ch)

- FPGA for real time Digital Pulse Processing (DPP):
 - Pulse Shape Discrimination (DPP-PSD)
 - Zero Length Encoding (DPP-ZLE)

743 12 bit 3.2 GS/s Switched Capacitor Digitizer

VME/V1743 (16ch), Desktop/DT5743 (8ch), NIM/N6743 (1ch)

- Based on the SAMLONG chip



Digital Pulse Processing

DPP-PSD Pulse Shape Discrimination

The 751 digitizers running DPP-PSD firmware accept signals directly from the detector and implement a digital replacement of dual gate QDC, discriminator and gate generator.

DPP-ZLEplus Zero Length Encoding

A new and enhanced version of the Zero Suppression (Zero Length Encoding) algorithm with improved readout performances is available for the 751 digitizers.

Fast Electronics *for fast signals*



 Share-it!

Amplifier Series

A1423 Wideband Amplifier

- Designed for fast detectors such as Diamonds and SiPM:
 - Bandwidth: ~ 1.5 GHz (-3dB)
 - Gain range: from +15 dB to +50 dB

