

Bollettino della Società Italiana di Fisica

Nuova Serie Anno 16

N. 3 maggio-giugno 2000

N. 4 luglio-agosto 2000



Comitato di Redazione:

Giuseppe-Franco Bassani, Enrico Bellotti, Luisa Cifarelli, Vincenzo Grasso, Roberto Habel, Angiolino Stella, Andrea Taroni, Antonio Vitale

Direttore Editoriale:

Andrea Taroni

Responsabile di produzione:

Angela Oleandri

Hanno inoltre collaborato a questo numero: L. Belloni, R. Bini, G. Chiarotti, A. Ekert, F.A. Gorelli, R. Lupacchini, A. Melchiorri, M. Nardone, M.A. Ricci, M. Santoro, G. Signorelli, E. Sindoni, L. Ulivi e G. Zambon

Copertina a cura di Enzo Iarocci

Segreteria di Redazione:

Carmen Vasini

Direzione e Redazione:

Società Italiana di Fisica

Via Castiglione 101

40136 Bologna

Tel. 051331554 / 051581569

Questo fascicolo è stato realizzato in Fotocomposizione dalla Monograf, Bologna e Stampato dalla Tipografia Compositori nel mese di Settembre 2000

Autorizzazione del Tribunale di Bologna n. 3265 del 3/5/1967

© Società Italiana di Fisica
Proprietà Letteraria Riservata

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta in qualsiasi forma (per fotocopia, microfilm o qualsiasi altro procedimento), o rielaborata con uso di sistemi elettronici, o riprodotta, o diffusa, senza autorizzazione scritta dell'editore



USPI Associato all'Unione
Stampa Periodica Italiana

Editrice Compositori, Via Stalingrado 97/2, Bologna

IL NUOVO SAGGIATORE

BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA

Direttore Responsabile
Giuseppe-Franco Bassani

Vicedirettori
Antonio Bertin e Antonio Vitale

Comitato Editoriale
E. Arimondo, G. Benedek, N. Cabibbo, S. Focardi,
E. Iarocci, P. Picchi, e R.A. Ricci

IL NOSTRO MONDO

- 3 Giornata-incontro sul tema: Fisica e Industria, Milano, 17 Marzo 2000
- 29 In ricordo di Giuliano Preparata
L. Belloni
- 29 In ricordo di Francesco Paolo Ricci
M.A. Ricci
- 30 In memoria di Umberto Maria Grassano
G. Chiarotti
- 31 In ricordo di Vittorio Mazzacurati
M. Nardone e G. Signorelli

SCIENZA IN PRIMO PIANO

- 32 Novità sulle anisotropie del fondo cosmico
A. Melchiorri

FISICA E...

- 36 Problemi acustici di un teatro: analisi e interventi
G. Zambon e E. Sindoni
- 50 La fase rossa dell'ossigeno solido ad alta pressione: un cristallo di molecole O₄
F.A. Gorelli, L. Ulivi, M. Santoro e R. Bini
- 58 Calcolatori quantistici
A. Ekert e R. Lupacchini

65 RECENSIONI

- 68 SCELTI PER VOI
Microbombe – Il riscaldamento degli oceani – Vi serve una mano?

69 ANNUNCI

ABBONAMENTI 2000

Il Nuovo Saggiatore - Bollettino della Società Italiana di Fisica viene inviato gratuitamente ai Soci della Società Italiana di Fisica.

Quota di associazione alla Società Italiana di Fisica:

Socio individuale	Lit. 70.000	36 €
Socio collettivo	Lit. 300.000	155 €
Socio sostenitore	(a partire da) Lit. 500.000	258 €

Quota abbonamento a Il Nuovo Saggiatore - Bollettino della Società Italiana di Fisica per i non soci: Lit. 100.000 52 €.

Quote di abbonamento ai periodici della Società Italiana di Fisica:

Il Nuovo Cimento B per i soci	Lit. 670.000	346 €	Il Nuovo Cimento C per i non soci	Lit. 405.000	209 €
Il Nuovo Cimento B per i non soci	Lit. 835.000	431 €	Rivista del Nuovo Cimento per i soci	Lit. 357.000	184 €
Il Nuovo Cimento C per i soci	Lit. 340.000	175 €	Rivista del Nuovo Cimento per i non soci	Lit. 440.000	227 €

Abbonamento cumulativo alle 3 riviste

per i soci	Lit. 1.250.000	645 €
per i non soci	Lit. 1.500.000	775 €

Giornale di Fisica per i soci	Lit. 79.000	40 €	Giornale di Fisica per i non soci	Lit. 95.000	49 €
Quaderni di Storia della Fisica			Quaderni di Storia della Fisica		

A partire dal gennaio 2000 la sezione A del *Nuovo Cimento* si è fusa con le sezioni A e C dell'*European Physical Journal*, rivista europea nata nel 1998 dalla fusione del *Journal de Physique* con lo *Zeitschrift für Physik* oltre che del *Nuovo Cimento*, e pubblicata col supporto della Società Europea di Fisica e di numerose società di fisica della comunità europea.

Le somme per l'abbonamento devono essere versate (direttamente o per mezzo di un libraio) sul c/c N. 19197409 - Il Nuovo Cimento - Società Italiana di Fisica S.I.F., via Stalingrado 97/2, 40128 Bologna

Per ulteriori informazioni rivolgersi a:

Editrice Compositori
Via Stalingrado, 97/2
40128 Bologna, Italy

tel. +39-0514199711
fax +39-051327877
e-mail: 1865@compositori.it

PUBBLICITÀ

Nella tabella sottostante sono indicati i prezzi delle inserzioni pubblicitarie ne Il Nuovo Saggiatore - Bollettino della Società Italiana di Fisica.

Spazio dell'inserzione	Superficie stampata (altezza × larghezza)	Numero di inserzioni			
		1 inserzione	3 inserzioni	6 inserzioni	12 inserzioni
1 pagina	cm 25.3 × 17.2	L. 1.000.000	L. 960.000	L. 930.000	L. 920.000
½ pagina	cm 12.2 × 17.2	L. 665.000	L. 640.000	L. 625.000	L. 590.000
⅓ pagina	cm 25.3 × 5.4	L. 585.000	L. 558.000	L. 530.000	L. 505.000
¼ pagina	cm 12.2 × 8.1	L. 500.000	L. 475.000	L. 458.000	L. 425.000

Supplemento per stampa a colori L. 600.000 + eventuali spese di produzione dei files per la quadricromia.

Le inserzioni pubblicitarie devono attenersi alle misure standard indicate.

La pubblicità è limitata al 20% del fascicolo.

La Direzione si riserva la facoltà di pubblicare esclusivamente le inserzioni che ritiene conformi al contenuto della rivista.

Periodicità: 6 numeri l'anno.

Stampa in fotocomposizione

Riproduzione di offset.

Gli articoli destinati alla pubblicazione devono essere inviati in duplice copia direttamente ed esclusivamente alla redazione, così come la corrispondenza relativa ad articoli e pubblicità:

Redazione de *Il Nuovo Saggiatore*

Società Italiana di Fisica

Via Castiglione 101

40136 Bologna

tel. +39-051581569 - fax +39-051581340

e-mail: saggiatore@sif.it - web page: www.sif.it

IL NOSTRO MONDO

Società Italiana di Fisica



Giornata-incontro sul tema:
Fisica e Industria

17 marzo 2000

Università di Milano Bicocca

in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica della Materia

Indice degli interventi

- 4 Osservazione introduttiva di F. Bassani, E. Bellotti, C. Benedek
- 5 I fisici nell'industria microelettrica
P. Cappelletti e M. Melanotte
- 9 Il ruolo dei fisici nell'industria della superconduttività
R. Garrè
- 11 Il CSM: un'impresa di ricerca industriale che dà spazio ai *Scientists*
R. Bruno
- 15 I fisici nella fotonica
S. Morasca
- 16 La domanda di rinnovazione e l'inserimento di ricercatori nelle attività di ricerca delle piccole e medie imprese
S. Rimoldi
- 18 Fisici nell'industria che cambia
L. Gherardi
- 20 Fisica e medicina
L. Conte
- 22 The role of the physicist in the industrial organizations of the XXI century: what and how
N.O. Lipari
- 24 Alcune idee e iniziative per estendere la collaborazione tra fisica e impresa
C. Rizzuto
- 26 Possono i corsi di laurea e dottorato in fisica promuovere un'impresoria innovatrice?
E. Scalas

GIORNATA-INCONTRO SUL TEMA:
FISICA E INDUSTRIA

MILANO, 17 MARZO, 2000

Osservazione introduttiva

Il giorno 17 marzo si è tenuta all'Università Milano-Bicocca una giornata dedicata alla Fisica dell'Industria.

Il tema è stato quello dei rapporti dei fisici con il mondo dell'Industria, non solo per quanto riguarda l'attività nei laboratori di ricerca e sviluppo, ma anche per il loro ruolo nelle attività produttive e nella creazione di nuove società di servizi o di produzione, in seguito allo sviluppo di nuove tecnologie.

L'incontro è stato molto positivo, anche se naturalmente, trattandosi di una sola giornata, della quale il pomeriggio era dedicato alla discussione e a interventi degli ascoltatori, solo un piccolo nucleo di industrie interessate è stato coinvolto. Ci proponiamo di tenere altri incontri di questo tipo, e non è escluso di poter avviare una pubblicazione periodica su questo tema specifico. Per ora presentiamo qui alcuni riassunti degli interventi che sono stati presentati alla Tavola Rotonda.

4

Da quanto appreso in questa riunione, come anche dai risultati delle indagini svolte da Antonio Rossi e pubblicate su *Il Nuovo Saggiatore* del gennaio 1999, risulta chiaro che molti dei laureati in fisica trovano nell'Industria il loro futuro professionale. Con le attività nell'ambito della Fisica Medica e Sanitaria della quale ci ha parlato il Presidente dell'associazione Leopoldo Conte, queste costituiscono ottime prospettive per le professioni del futuro, e anche di ciò si dovrà tener conto nell'elaborare i contenuti dei nuovi corsi di Laurea in Fisica.

Desideriamo ringraziare il magnifico Rettore Marcello Fontanesi, che ci ha ospitato ed ha partecipato all'incontro, gli esponenti dell'Industria intervenuti e tutti i colleghi che hanno dato il loro contributo.

Ci auguriamo che questo incontro sia l'inizio di una sempre più efficace e continua azione della nostra Società e di un coinvolgimento maggiore dei fisici interessati nelle attività della SIF.

Il mondo della Scuola e il mondo delle professioni e dell'Industria sono sempre più connessi, e devono essere entrambi al centro delle nostre attenzioni.

Franco Bassani, Enrico Bellotti e Giorgio Benedek

I FISICI NELL'INDUSTRIA MICROELETTRONICA

P. Cappelletti* e M. Melanotte**

Central R&D STMicroelectronics

1. - Introduzione

L'impressionante sviluppo dell'elettronica professionale e di consumo cui abbiamo assistito negli ultimi anni non sarebbe stato possibile senza l'ancor più impressionante evoluzione delle tecnologie di integrazione su silicio. I progressi dei circuiti integrati negli anni possono essere rappresentati solo in scala logaritmica, sia che si parli di numero di transistori per *chip*, la nota legge di Moore, o di costo per componente elementare o di potenza dissipata per commutazione elementare oppure di numero di operazioni per secondo. La riduzione esponenziale della massa, del consumo, del costo e il corrispondente incremento delle prestazioni dei sistemi elettronici hanno consentito la diffusione del *personal computer*, propulsore dell'industria elettronica negli anni '80, e della telefonia mobile, protagonista degli anni '90, e gettano le basi per l'era della «elettronica nomadica» in cui la comunicazione e l'elaborazione dell'informazione multimediale saranno supportate da apparecchi portatili sempre più piccoli, potenti ed economici.

Alimentata dalla esplosiva crescita delle applicazioni emergenti così come dalla più moderata ma continua crescita dei settori più tradizionali, l'industria dei semiconduttori ha mantenuto negli ultimi vent'anni un tasso d'incremento medio di fatturato superiore al 15% annuo, raggiungendo nel 1999 il valore di circa 150 miliardi di dollari, e non si prevede che questa crescita subisca rallentamenti, almeno per i prossimi 10-15 anni.

Pur cominciando a mostrare una tendenza al consolidamento tipica di ogni settore industriale maturo, determinata in questo caso soprattutto dalla crescita degli investimenti necessari per la realizzazione degli impianti

* Non Volatile Memory Process Development
via C. Olivetti 2, 20041 Agrate Brianza

e.mail: paolo.cappelletti@st.com

** Catania Central R&D Technology Center

Stradale Primosole 50, 95121 Catania

e.mail: massimo.melanotte@st.com

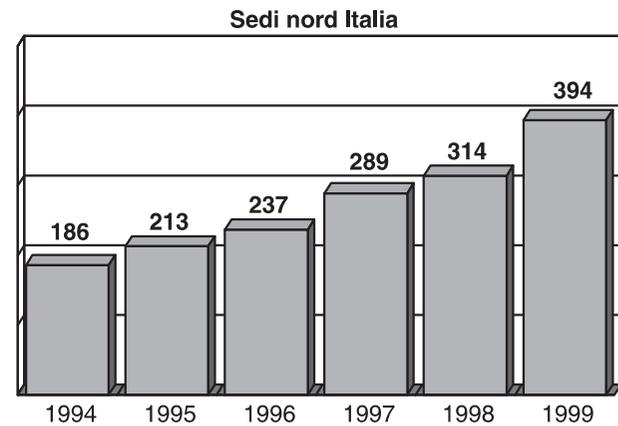


Fig. 1. - Popolazione di fisici nella STMicroelectronics - Sedi nord Italia.

produttivi, l'industria microelettronica continua a mantenere una vitalità e una spinta all'innovazione che non hanno eguale in settori manifatturieri di dimensioni confrontabili. L'esasperata competizione a livello mondiale spinge al massimo l'evoluzione tecnologica e costringe le società che vogliono mantenere posizioni di preminenza a investire il 10-15% del loro fatturato in ricerca e sviluppo.

L'industria dei semiconduttori assorbe ogni anno un numero ingente di laureati in discipline scientifiche e si prevede che la formazione e l'inserimento del numero necessario di giovani laureati sarà uno dei fattori critici per sostenere la crescita di questo settore nei prossimi anni.

Ci sono quindi evidenti ragioni di ordine economico che possono spingere uno studente di fisica a guardare con attenzione all'industria microelettronica come possibile sbocco professionale; ci preme di più in questa breve

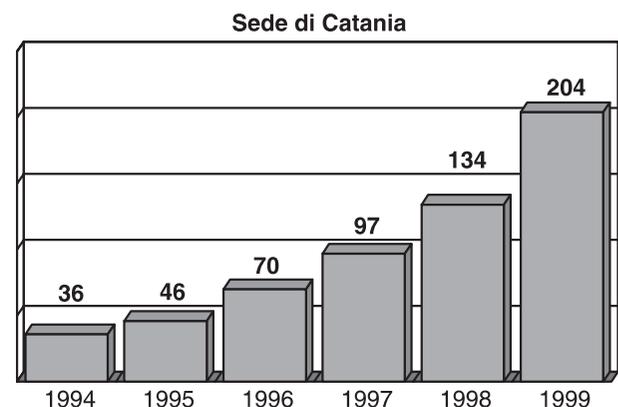


Fig. 2. - Popolazione di fisici nella STMicroelectronics - Sede di Catania.

nota rendere ragione delle motivazioni tecnico-scientifiche che a nostro parere rendono una carriera professionale in questo settore molto interessante per un giovane fisico e che, corrispondentemente, spingono l'industria microelettronica a ricercare con preferenza fisici per diverse funzioni sia legate agli sviluppi che alla produzione. Nelle sedi italiane, la STMicroelectronics ha assunto nel 1999 più di 160 (82 ad Agrate e 73 a Catania) giovani laureati in fisica (fig. 1, 2), che corrispondono a circa un quarto del totale dei neo-laureati assunti; tale percentuale avrebbe potuto anche essere maggiore se vi fosse stata un'adeguata disponibilità di fisici.

2. - Architetture di processo per circuiti integrati

Un circuito integrato è un sistema elettronico complesso completamente realizzato su silicio con un unico processo di fabbricazione che consente di ottenere sia i componenti attivi (transistori), che quelli passivi (resistori, condensatori, induttori) e le interconnessioni, attraverso una lunga e articolata sequenza di passi di lavorazione.

Tipicamente la prima parte del flusso di processo, convenzionalmente chiamata *front-end*, riguarda la fabbricazione dei componenti elementari, che sono realizzati nel substrato di silicio, mentre la seconda parte, *back-end*, comporta la deposizione in sequenza di strati dielettrici e di strati metallici per la realizzazione delle interconnessioni tra i vari componenti. Per trasferire sul silicio e sugli strati depositi le figure che compongono il disegno del circuito si utilizzano sofisticate tecniche fotolitografiche: un processo per circuiti CMOS richiede da 20 a 30 livelli di fotolitografia.

Convenzionalmente si utilizza la dimensione minima delle geometrie realizzabili per indicare il livello tecnologico di un processo per circuiti integrati. I processi più avanzati attualmente in produzione sono a livello di $0.18\ \mu\text{m}$ ma la maggior parte dei circuiti CMOS è tuttora prodotta con tecnologie tra 0.7 e $0.35\ \mu\text{m}$. Si stanno sviluppando i processi per le prossime generazioni (0.15 e $0.12\ \mu\text{m}$) e le tecnologie di base per le generazioni successive (0.1 e $0.08\ \mu\text{m}$); il percorso evolutivo è quindi già tracciato con sufficien-

te grado di confidenza, anche se con contorni progressivamente meno definiti, per i prossimi 10-15 anni.

Lo sviluppo delle tecnologie di base e lo studio dei materiali, che saranno ripresi nei prossimi paragrafi, certamente forniscono il principale contributo all'evoluzione dei circuiti integrati e costituiscono un campo d'impiego naturale per laureati in fisica.

Tuttavia la disponibilità delle tecnologie di base da sola non è sufficiente per determinare il successo in questo settore; la chiave di volta del successo di un processo per circuiti integrati sta nella capacità di combinare singoli passi tecnologici per realizzare dispositivi elettronici che svolgano funzioni diversificate ottimizzando prestazioni, affidabilità e costo.

Su una comune piattaforma tecnologica si possono sviluppare una varietà di processi mirati a realizzare circuiti con diverse funzioni; il processo con cui si fabbrica un microprocessore è diverso da quello con cui si fabbrica una memoria o da quello con cui si fabbrica un circuito a radiofrequenza per telecomunicazioni. Ciò che diversifica questi processi è innanzitutto la tipologia e le caratteristiche dei componenti elementari, quindi il *front-end*, ma anche la complessità del *back-end*. Si suole chiamare architettura di processo l'insieme delle caratteristiche strutturali, che include la definizione dei componenti attivi e passivi, del flusso completo di fabbricazione e delle regole di progettazione.

Lo sviluppo delle architetture di processo è un'attività in cui vengono impiegati prevalentemente fisici e nella quale i fisici trovano ampio spazio di soddisfazione personale e professionale.

Il cuore dell'attività riguarda la progettazione e la caratterizzazione dei componenti elementari, cioè la fisica di dispositivi a stato solido.

La miniaturizzazione dei componenti richiesta dalla continua spinta all'aumento della densità di integrazione, costringe ad affrontare a ogni generazione nuovi problemi, che riguardano sia i principi di funzionamento che la loro controllabilità, e a rivedere di conseguenza la struttura stessa dei dispositivi elementari.

Si prenda ad esempio il transistor MOS, il componente fondamentale di tutti i circuiti integrati digitali: il principio di funzionamen-

to di questo componente è noto dagli anni '30 ed è facilmente spiegabile in termini di una elementare teoria semiclassica dei semiconduttori.

In realtà già a dimensioni micrometriche la dominanza degli effetti bi- e tri-dimensionali, che nel modello elementare sono considerati effetti del second'ordine, e l'emergenza di indesiderati effetti quantistici come la generazione per impatto di coppie elettrone-lacuna o il riscaldamento elettronico, che comportano problemi di affidabilità legati a generazione di stati di interfaccia e all'intrappolamento di carica nell'ossido del transistor, hanno portato a complicare progressivamente la struttura del transistor MOS rispetto a quella riportata nei testi universitari. Nei prossimi anni, dovendo ridurre le geometrie sotto il decimo di micron, la lunghezza dei transistori MOS diventerà confrontabile con il libero cammino medio dei portatori e il trasporto balistico diventerà il meccanismo di conduzione dominante, costringendo a rivedere alla radice i modelli che descrivono il funzionamento del transistor.

Ancora più interessante è lo studio delle celle di memorie non volatili, settore nel quale la STMicroelectronics occupa una posizione di preminenza a livello mondiale e la cui attività di ricerca e sviluppo è localizzata nelle sedi italiane. La cella elementare di una memoria *flash* (fig. 3) è costituita da un transistor MOS a *gate* flottante, un particolare dispositivo in cui la soglia di scatto della conduzione dipende dalla carica elettrica presente nella *gate* flottante e che può quindi essere

utilizzato per immagazzinare dati sia in modo digitale che analogico.

Nel caso di una memoria digitale, gli stati logici vengono associati a due diversi stati di carica della *gate* flottante, che è costituita da uno strato di silicio policristallino isolato, interposto tra la superficie del silicio e la *gate* di controllo della cella. Per modificare lo stato di carica della *gate* flottante si possono utilizzare tre meccanismi che consentono di iniettare o estrarre elettroni:

— l'emissione termoionica: si fornisce, attraverso un campo elettrico, sufficiente energia agli elettroni nel substrato da consentire ad essi di superare la barriera di potenziale costituita dall'ossido di silicio; è un meccanismo che permette di iniettare elettroni nella *gate* flottante ed è usato per programmare memorie di tipo EPROM e *flash*;

— l'effetto fotoelettrico interno: l'energia necessaria a superare la barriera è fornita da fotoni; è il meccanismo usato per la cancellazione delle memorie EPROM e richiede l'impiego di luce ultravioletta poiché la barriera Si/SiO_2 è di 3.2 eV;

— l'effetto tunnel: applicando un elevato campo elettrico diretto normalmente alla superficie, si può modificare il profilo della barriera di potenziale fino ad ottenere il passaggio di corrente per *tunnelling* (effetto Fowler-Nordheim); è il meccanismo usato per programmare e cancellare memorie di tipo EEPROM e *flash*.

Lo studio e la progettazione di celle di memoria richiede una approfondita comprensione di questi meccanismi e di come sia possibile massimizzarne l'efficienza migliorando la struttura della cella. Nel caso delle memorie EEPROM e *flash*, per le quali si devono garantire centinaia di migliaia di operazioni di scrittura, particolare attenzione va rivolta allo studio dei meccanismi di degrado legati alla generazione di trappole nell'ossido e di stati d'interfaccia.

Per avere un'idea di quanto sia critica la qualità dei materiali e in particolare degli ossidi sottili, si pensi che in una cella *flash* avanzata la capacità della *gate* flottante è dell'ordine del fF; di conseguenza, la carica elettrica che serve a immagazzinare l'informazione è costituita da poche migliaia di elettroni e per garantire che il dato si conservi per anni occorre che le correnti di perdita siano inferiori a qualche elettrone al giorno!

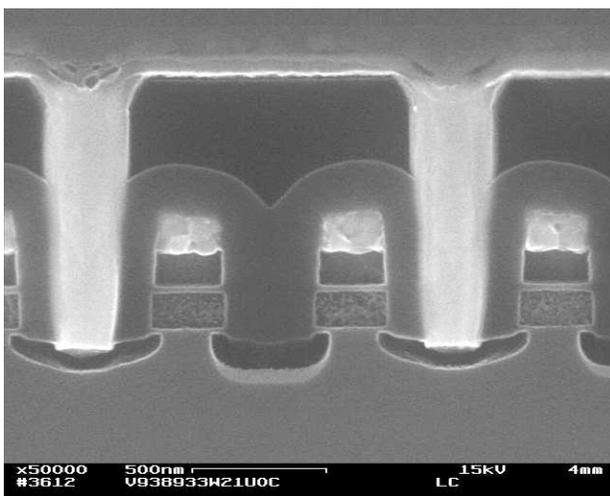


Fig. 3. - Fotografia SEM della sezione di celle di memoria *flash*; la larghezza dell'immagine a dimensioni reali è di 2 μm .

L'attività legata allo sviluppo delle architetture di processo che, come si è detto, è centrata sulla fisica dei dispositivi elementari, copre la concezione, l'ottimizzazione e la caratterizzazione sia dei componenti che del flusso di processo per realizzarli, si avvale di strumenti di simulazione numerica e comporta una intensa attività di sperimentazione su silicio e di misure elettriche.

La formazione di un fisico, meglio se con buone basi di fisica dei solidi, è quella che meglio si addice a questo tipo di lavoro nel quale è richiesta un spiccata propensione all'attività sperimentale supportata dalla capacità di sintetizzare e ricomporre la complessità dei fenomeni in modelli teorici semplici, mantenendo però l'attenzione a cogliere l'evidenza del dato che falsifica il modello.

3. – Processi di lavorazione del silicio

La realizzazione dei circuiti integrati avviene attraverso una sequenza di passi di processo in cui il silicio viene lavorato con attrezzature estremamente sofisticate (e costose...) dove fisica, chimica e ingegneria si combinano per ottenere quella che è la chiave del successo in microelettronica: la capacità di riprodurre in elevatissimo numero e con un controllo di processo di estrema precisione strutture la cui dimensione minima allo stato attuale della tecnologia è ormai di 100–200 nanometri in X e Y, e di pochi nanometri come spessore di film cresciuti o depositi.

Il silicio viene definito a queste dimensioni miniaturizzate mediante fotolitografia e attacchi in plasma o di tipo chimico, drogato mediante impiantazione ionica, sottoposto a processi di diffusione e ossidazione, passivato e protetto dalle contaminazioni dell'ambiente esterno mediante strati di dielettrico resistenti all'umidità e agli stress termo-meccanici.

I segnali tra i vari componenti (celle di memoria, transistori, condensatori) vengono portati tramite interconnessioni metalliche che utilizzano vari materiali (Al, W, Cu, Pt, ...), con un comune denominatore nella continua ricerca di film sottili con bassa resistenza, elevata stabilità e facile integrabilità nel flusso di lavorazione.

È questo un campo di lavoro naturale per i fisici, sia nelle attività di ricerca e sviluppo, dove la continua frenetica innovazione spinge ver-

so dimensioni sempre più piccole e prestazioni sempre più elevate (alta velocità e basso consumo), sia nelle attività di produzione dove un controllo di processo esasperato e livelli di qualità inimmaginabili per altri tipi di industria ben si adattano sia alle conoscenze sia soprattutto al metodo che sono o dovrebbero essere il patrimonio primario di qualunque buon fisico.

La microelettronica sfrutta per la sua tecnologia il patrimonio sviluppatosi in altri settori della fisica: così gli impiantatori ionici utilizzati per drogare il silicio e alterarne le caratteristiche elettriche sono l'evoluzione degli acceleratori di particelle della fisica nucleare. Spinge inoltre a una continua evoluzione tecniche in origine convenzionali, come la fotolitografia, dove oggi per definire le dimensioni in gioco e impressionare il *fotoresist* si utilizzano lunghezze d'onda molto piccole (248–193 nm nelle moderne macchine di esposizione cosiddette DUV — *deep ultra violet*) ottenute mediante diseccitazione di molecole a eccimeri.

E tecniche ancora più sofisticate, mediante fasci di elettroni o di raggi X, attendono solo per essere impiegate in volume che il loro costo di utilizzo scenda a livelli di interesse industriale.

Oltre allo sviluppo di attrezzature sempre più sofisticate, la microelettronica spinge a una continua evoluzione lo studio dei materiali, dal silicio mono e policristallino, all'ossido di silicio, ai dielettrici di varia natura e caratteristiche (nitrucci, ossinitrucci), ai siliciuri (di tungsteno, di titanio, di cobalto, di platino), ai metalli (alluminio, tungsteno, rame), fino all'ultimo grido della tecnologia, i materiali ferroelettrici.

4. – Analisi chimico-fisiche

I campioni di silicio realizzati con i processi descritti nel paragrafo precedente vengono caratterizzati utilizzando varie tecniche di analisi chimico-fisiche. Elenchiamo tra le principali il **SEM** (*Scanning Electron Microscope*) dove si utilizza l'immagine ottenuta tramite una scansione di un fascio collimato di elettroni, il **TEM** (*Transmission Electron Microscope*), analizzando l'immagine ottenuta da elettroni che attraversano campioni molto sottili si ottiene una tecnica che permette un'elevata risoluzione spaziale e la possibilità di analizzare materiali cristallini sfruttando la diffrazione elettronica (fig. 4), il **SIMS** (*Secondary Ion Mass Spectrometry*) che per-



Fig. 4. – fotografia TEM della sezione di una cella di memoria flash (particolare).

mette di determinare con elevata accuratezza e sensibilità il profilo di concentrazione di un dato elemento chimico (fig. 5), l'AFM (*Atomic Force Microscope*), usando punte di dimensioni submicrometriche e rilevando l'intensità delle forze di van der Waals è possibile ricostruire la mappa della superficie di un campione con risoluzioni laterali dell'ordine dell'angstrom, l'XPS (*X-ray Photoelectron Spectroscopy*) dove l'elemento chimico e la stechiometria vengono determinati analizzando i fotoelettroni emessi dal campione sottoposto a un intenso flusso di raggi X, l'AES (*Auger Electron Spectroscopy*) dove la concentrazione elementare della superficie è determinata con elevata risoluzione spaziale analizzando gli elettroni secondari emessi per effetto Auger in seguito ad eccitazione da elettroni primari.

La lista di tecniche utilizzate in microelettronica potrebbe proseguire a lungo, proseguendo con TXRF (*Total reflection X-ray Fluorescence*), FTIR (*Fourier Transform Infra-Red*), SPV (*Surface Photo-Voltage measurements*), SCM (*Scanning Capacitance Microscope*) e molte altre.

Ancora una volta per i fisici queste metodiche sono un ambiente naturale in cui operare, spesso avendo fatto pratica su di esse già durante il lavoro di tesi o di ricerca all'Università.

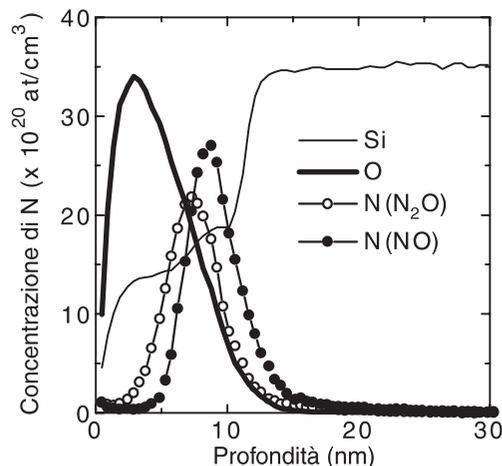


Fig. 5. – Profilo SIMS di due campioni di ossido nitrurato da molecole di NO e di N₂O.

5. – Conclusioni

La microelettronica è uno dei settori industriali in cui si fa più largo impiego di tecnologie avanzate e, come pensiamo di avere illustrato in queste brevi note, offre interessanti prospettive d'impiego per giovani laureati in fisica.

Il forte sbilanciamento tra domanda e disponibilità di laureati in discipline scientifiche spingerà a considerare con crescente attenzione le lauree brevi; questo consentirà anche di meglio indirizzare diversi gradi di formazione verso diverse tipologie professionali.

Tuttavia le opportunità per i fisici rimarranno numericamente e qualitativamente rilevanti; è bene che a queste opportunità guardino con attenzione sia gli studenti che il mondo accademico.

IL RUOLO DEI FISICI NELL'INDUSTRIA DELLA SUPERCONDUTTIVITÀ

R. Garrè

Europa Metalli Spa

Divisione Superconduttori

Via della Repubblica 252, 55052 Fornaci di Barga (Lucca)

Europa Metalli è la Società italiana del Gruppo KME, leader mondiale per la produzione di semilavorati e prodotti finiti di rame e leghe di rame. KME è la *holding* industriale controllata dalla Società Metallurgica Italiana. KME è organizzata in quattro divisioni

internazionali, la divisione barre, la divisione prodotti speciali, la divisione laminati e la divisione tubi. Nell'ambito della divisione internazionale prodotti speciali, si ha la divisione superconduttori, con sede a Fornaci di Barga in provincia di Lucca. Europa Metalli è entrata nel campo della superconduttività nel 1978 e da allora ha partecipato ai più importanti progetti internazionali sulla fisica delle alte energie e sulla fusione termonucleare controllata. Il primo progetto è stato HERA di Desy ad Amburgo, per il quale EM ha prodotto la metà dei cavi superconduttori per i magneti dipolari. Successivamente sono avvenute altre importanti realizzazioni, come la produzione dei cavi per ZEUS, SULTAN, il ciclotrone di Milano, i cavi per i rivelatori di DAFNE, i cavi per i magneti di prova del progetto ITER (fig. 1).

Al termine di una lunga attività di qualificazione da parte del CERN, Europa Metalli è risultata aggiudicataria di un grosso ordine per la realizzazione dei cavi per LHC, il nuovo progetto sulla fisica delle alte energie (fig. 2).

La Divisione Superconduttori è inoltre attiva nel campo dell'NMR e dell'MRI per applicazioni mediche, essendo una delle più importanti unità di produzione mondiale di questo tipo di conduttori.

Dalla scoperta dei superconduttori ad alta temperatura critica raffreddati ad azoto liquido, Europa Metalli è attiva nella ricerca dei nuovi composti ceramici nel tentativo di permetterne l'utilizzazione in dispositivi pratici, con notevoli benefici rispetto a quelli tradizionali, raffreddati ad elio liquido.

10



Fig. 1. - Progetto NET ITER: cavo superconduttore Nb_3Sn per bobina toroidale.

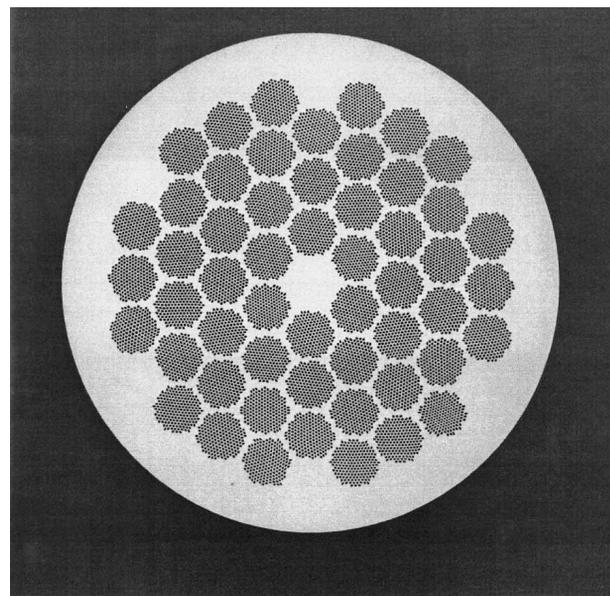


Fig. 2. - Progetto LHC: sezione dello *strand* NbTi $\varnothing 0.825$ mm per cavo esterno.

La divisione superconduttori ha un organico di circa cento persone, tra cui una quindicina tra ingegneri e fisici. I fisici sono prevalentemente impegnati nella ricerca, nel controllo qualità, nella gestione dei progetti e nella programmazione dei progetti e della produzione. In tutti questi settori, i fisici, grazie alla loro preparazione ad ampio raggio, alla loro flessibilità e al loro rigore mentale, riescono ad esprimersi al meglio.

La ricerca e sviluppo è da sempre l'attività che maggiormente si addice ai fisici e nel campo della superconduttività è di fondamentale importanza svolgere attività di ricerca pura, applicata e di sviluppo. Per Europa Metalli mantenere un sensore tecnologico è essenziale per prevenire che prodotti come i superconduttori, per i quali mediamente si ha un tempo di vita piuttosto breve, diventino obsoleti prematuramente e per impedire di rimanere fuori dai nuovi mercati. In questo i fisici giocano un ruolo di spicco. Le opportunità per i fisici nel R&D divisionale sono essenzialmente nell'esecuzione di studi di fattibilità di progetti, nello sviluppo di progetti e nel trasferimento tecnologico, nella gestione dell'interfaccia con le Università e con gli Enti ed Istituti di Ricerca.

Il controllo qualità per i superconduttori commerciali è una attività estremamente com-

pressa. Tutti i laureati nell'area qualità della divisione superconduttori sono fisici. Il fisico della qualità elabora i piani di controllo per i vari prodotti e per i vari processi, gestisce gli operatori che vigilano sui processi stessi, raccoglie ed elabora i dati, si interfaccia con i clienti per la discussione finale. Si tratta di una attività molto operativa che deve avere caratteristiche di efficacia e efficienza, alla quale i fisici sono indubbiamente predisposti.

Nel campo della superconduttività applicata attualmente si hanno due grossi filoni di prodotti: i prodotti commerciali (NMR e MRI) e i prodotti per progetti (acceleratori, fusione nucleare, SMES ecc). Per i primi è fondamentale l'attività di programmazione della produzione, per gli altri l'attività di gestione e programmazione di progetto. Per la produzione si hanno cicli molto elaborati, per i progetti si hanno numerose azioni con tempistiche serrate. I fisici sono sicuramente avvantaggiati dalla loro capacità di analisi, che, se combinata con abilità di sintesi, può permettere loro di diventare degli eccellenti gestori.

Concludendo, possiamo affermare che la produzione industriale di superconduttori è una attività estremamente complessa che richiede *know how* tecnologico e capacità professionali. I fisici rivestono un ruolo fondamentale in questo comparto industriale, specialmente nelle aree di ricerca, qualità, gestione e programmazione. Il settore della superconduttività è in forte espansione, specialmente nel campo biomedicale, i superconduttori ad alta temperatura critica potrebbero inoltre contribuire ad una formidabile affermazione della superconduttività in numerose applicazioni.

La superconduttività industriale potrebbe quindi essere una importante opportunità occupazionale futura per molti fisici.

IL CSM: UN'IMPRESA DI RICERCA INDUSTRIALE CHE DÀ SPAZIO AI SCIENTISTS

R. Bruno

CSM-Roma

Sintesi

Attraverso una breve presentazione generale di un Centro di Ricerca Industriale sui materiali quali il CSM (presentazione che in-

clude una sua breve storia, a chi si rivolge e quali sono le sue linee di attività), si potranno trarre immediate indicazioni di quali specializzazioni tipiche dell'area della fisica siano utilizzabili e valorizzabili in questo contesto. Inoltre, attraverso un cenno sulla struttura-organizzazione dell'azienda si potrà apprezzare come le competenze scientifiche di base, tra cui quelle del fisico, trovino diretto riscontro negli schemi di carriera previsti, nella vita e nei piani di sviluppo aziendali.

Missione

Il CSM è una impresa privata, una organizzazione che fa ricerca industriale per le aziende, con l'obiettivo di trasferire innovazione sostanziale e miglioramenti tecnologici in risultati industriali utili per la competizione delle imprese, assicurando ai progetti una «massa critica» adeguata di competenze ed esperienze sia interne che attraverso una rete di collaborazioni nazionali e internazionali

La storia

Fondato nel 1963 dalle principali imprese siderurgiche e meccaniche nazionali come Centro Sperimentale Metallurgico, nel 1987 cambia denominazione in *Centro Sviluppo Materiali*, dilatando interventi e competenze in nuovi campi di materiali, prodotti e tecnologie, dotandosi di una struttura operativa policentrica (Roma, Terni, Genova, Dalmine).

Il CSM, nonostante le radicali modifiche degli assetti societari conseguenti alla privatizzazione della siderurgia IRI, ha saputo adattarsi e riorientarsi fino a guadagnare un ruolo chiave nella «nuova» industria privatizzata dell'acciaio, in termini di progettualità, efficienza ed offerta tecnologica di altissimo livello. Grazie ad una rapida ed efficace conversione ed ottimizzazione delle capacità sviluppate nelle complesse tecnologie di produzione e controllo dell'acciaio può ora servire come punto di eccellenza nazionale, oltre che per il settore siderurgico anche per le grandi Industrie manifatturiere e PMI diversificate.

Oggi

Oggi, con una forza di circa 325 ricercatori ed una produzione di circa 70 Mld/anno, il CSM è uno dei preminenti Centri di Ricerca europei sui materiali, intrattiene un'intensa cooperazione con industrie, Università e Centri di ricerca nazionali ed internazionali, è

rappresentante nazionale in ambito Ricerca CECA, e membro del consorzio europeo EMARC (che riunisce otto qualificati Centri di ricerca industriale). Per meglio supportare obiettivi di internazionalizzazione, è stata resa operante una sede estera a Bruxelles.

Il mercato

Il mercato di riferimento del CSM riguarda le problematiche dei materiali in differenti settori industriali: siderurgia e metallurgia in genere, impiantistica, estrazione e distribuzione di petrolio e gas, trasporti (stradali, navali e ferroviari), costruzioni e infrastrutture civili, beni di investimento e consumo durevoli, componenti aerospaziali, componentistica meccanica, biomedicale, trattamento dei rifiuti e riciclaggio, ceramiche e refrattari, industria orafa, etc.

L'azionariato

Acciai Speciali Terni (15%): azienda leader del mercato nazionale, seconda in Europa per importanza, degli acciai inossidabili e magnetici, appartenente al Gruppo Krupp-Thyssen, leader mondiale del settore; *Dalmine* (8%) e *Techint Impianti* (4%) inserite nel Gruppo internazionale Techint, leaders dei tubi e dell'impiantistica; *Fincantieri* (8%): leader mondiale nella cantieristica per crociere; *Vesuvius International* (8%), leader mondiale nei componenti refrattari per metallurgia-siderurgia, appartenente al Gruppo multinazionale Cookson; *UNOAERRE* (1%), leader nazionale nel settore orafa, il più importante nel mondo; *C.L.N.* (4%) del Gruppo Magnetto, operante nello sviluppo di componenti in acciaio e *F.E.I.* (1%) del Gruppo Parizzi, specializzato nei sistemi automatici di controllo della produzione.

Tali aziende affiancano ora i preesistenti azionisti industriali *Teksid* (Gruppo FIAT), *SnamProgetti* (Gruppo ENI), *Falck*, oltre a SOFINPAR-IRI, alla quale sono pervenute ulteriori e numerose manifestazioni d'interesse all'ingresso nell'azionariato CSM da parte di altre imprese di rilievo nazionali e internazionali.

Come opera

L'intera organizzazione del CSM è fortemente motivata ed orientata ad ottenere risultati che migliorino la competitività dei propri clienti, a costi e tempi concordati pre-

ventivamente e in regime di assoluta riservatezza ed esclusività.

Gli interventi del CSM coprono l'intero ciclo dell'innovazione sui materiali: dagli studi e dalle ricerche su scala di laboratorio alla progettazione e ingegnerizzazione di prodotti-processi-tecnologie, alla sperimentazione a livello pilota, dimostrativo e industriale, alla realizzazione prototipale di impianti e prodotti, alle problematiche di affidabilità e sicurezza di componenti, strutture, impianti e a quelle ambientali e di riciclo di sotto-prodotti e materiali.

Attività

Il ventaglio dell'offerta del CSM si articola in:

ricerca e sviluppo per:

- i settori siderurgico e metallurgico, produttivi ed impiantistici
- imprese produttrici diversificate
- il settore dell'ambiente e dell'energia (processi, impianti, ricicli ...)
- i grandi settori dell'industria manifatturiera, dell'impiantistica e delle infrastrutture;

servizi tecnologici e consulenza (testing, problem solving ...);

servizi ausiliari alle imprese (project financing, formazione, brevetti e licenze).

Il portafoglio clienti include, oltre agli azionisti, numerose ma selezionate aziende diversificate *leader* nei propri comparti, soggetti di riferimento importanti per il continuo orientamento e sviluppo delle tecnologie nei campi di specializzazione del CSM.

Crescente importanza sta assumendo il ruolo CSM a livello territoriale con la partecipazione ai Parchi Scientifici e Tecnologici fra cui il nuovo Consorzio Tecnopolo di Castel Romano. In tale contesto il CSM, detentore del 50% del Consorzio, opera come riferimento tecnologico per il sostegno alle PMI e per lo sviluppo di nuove iniziative imprenditoriali ad alto valore aggiunto.

Quali materiali

Il *core-business* del CSM è legato ai materiali metallici, primo tra tutti l'acciaio, nonché il titanio, l'alluminio e le superleghe, anche se materiali quali i ceramici, compositi a matrice metallica, gli organici (questi ultimi specialmente come rivestimenti o per quel che riguarda il loro riciclo), sono attentamente considerati.

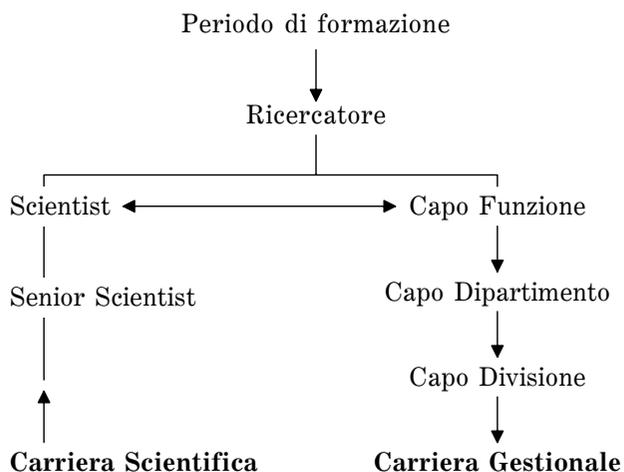
Il CSM, in quanto Centro di Ricerca industriale, si occupa ovviamente dei problemi legati ai suoi clienti industriali ed ha anche il compito di individuare le linee di sviluppo tecnologico futuro di processi o prodotti che siano per loro interessanti.

Il ruolo «scientifico» al CSM

Questo non vuol dire che il CSM trascuri le discipline di base che sono all'origine dei problemi di diretto interesse dei clienti. Una parte di queste è demandata, in rete, alle Università, tramite opportuni accordi quadro e contratti, l'altra è portata avanti dalla struttura scientifica del CSM, composta di *Senior Scientists* e *Scientists* raggruppati in cattedre o discipline, il cui compito principale è di mantenere alto il livello scientifico dell'azienda nelle discipline chiave per rendere efficienti le varie azioni di ricerca in cui l'azienda è impegnata.

Le carriere al CSM

Il CSM ha dunque fatto proprio il concetto di *dual carrier* messo a punto da qualche tempo negli Stati Uniti. La carriera scientifica è una delle due vie di sviluppo per i ricercatori essendo l'altra quella del «Capo» (funzione, dipartimento, divisione). Queste due vie in qualche modo sono interscambiabili tra loro; in relazione alla tipologia del «Scientist», questi può essere di staff diretto del Capo Dipartimento o anche del Capo Divisione. Il modello di *dual carrier* è così sintetizzabile



Le cattedre

Attualmente la carriera scientifica è articolata in cattedre, corrispondenti a discipline di

base, fondamentali per la vita ed il ruolo dell'azienda, le quali sono assegnate a *Senior Scientists*, coadiuvati da *Scientists*.

La tavola seguente descrive l'articolazione delle cattedre

Discipline	Senior Scientist	Scientist
Siderurgia ed impianti siderurgici		2
Chimica fisica dei processi industriali	2	1
Energetica dei processi industriali	1	1
Processi termomeccanici e saldatura		1
Automazione e sensoristica		1
Metallurgia fisica e metallografia	1	5
Metallurgia meccanica	1	2
Elettrochimica corrosione e protezione	1	1
Scienza e tecnologia delle superfici e dei rivestimenti	1	1
Scienza e tecnologia dei materiali ceramici		1
Ingegneria dell'ambiente		
Logiche di controllo processo		2
Scienza e tecnologia della solidificazione	1	2
Tecnologia e meccanica dei solidi		1
Progettazione ingegneristica di prodotti e componenti		2
TOTALE	8	23

Scientists e Senior Scientists

I *Senior Scientists* sono membri della direzione scientifica dell'azienda, partecipano al comitato ricerche al quale, spesso, sono presentate anche le ricerche al momento di partenza, quando è più produttivo dare consigli sulla impostazione scientifica.

Il Consiglio Scientifico Interno

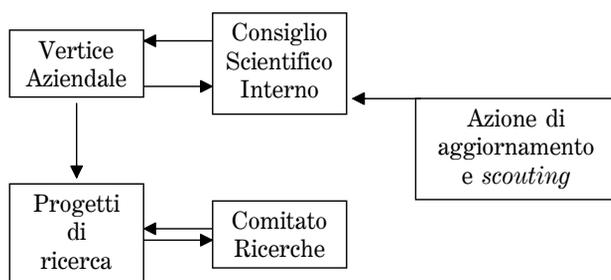
Il compito di definire linee guida per l'azienda è del Consiglio Scientifico Interno il quale si riunisce almeno una volta l'anno soprattutto per esaminare nuovi possibili orientamenti che emergono dal lavoro di aggiornamento svolto da *Scientists* e *Senior Scien-*

tists e per approvare le ricerche interne, cioè a capitalizzazione, svolte con risorse finanziarie interne. Ciò permetterà al Consiglio Scientifico Interno di esprimere anche una sorta di centro studi e pianificazione. In questo modo può essere orientata e monitorata la partecipazione dei *Senior Scientists*, come consulenti della direzione, nella definizione del miglior iter in termini scientifici riguardo le strategie aziendali, nel delineare collaborazioni, nella realizzazione di tesi, nel progettare ed eseguire ricerche innovative con l'università, rendendo così attiva la rete di convenzioni e contratti con quest'ultima.

Responsabilità dei Scientists

A *Scientists* e *Senior Scientists* viene data la responsabilità delle ricerche di base, interne e no, che sono attinenti alla loro «cattedra». Loro sono i rappresentanti del CSM nella cultura rappresentata dalla cattedra per la quale hanno avuto una nomina e questo l'azienda si impegna a renderlo evidente.

Una parte del tempo delle persone che svolgono la carriera scientifica (tipicamente un 10%) è dedicato all'aggiornamento delle competenze professionali pena un loro decadimento più o meno rapido. È uno sforzo che ha un costo per l'azienda ma che è un investimento con un sicuro ritorno. Questo rende operativo il fatto che chi ha un titolo nella carriera scientifica deve essere il primo responsabile del processo formativo dell'azienda. Inoltre permette di «alimentare» il Consiglio Scientifico Interno di materiale per scegliere o migliorare strategie di ricerca. Va comunque sottolineato che l'appartenenza alla carriera scientifica non è un titolo onorifico per il CSM e quindi va sottoposto a verifica periodica da parte dell'azienda. Quali membri della Direzione Scientifica dell'azienda, ai *Senior Scientists* viene data la possibilità di scegliere un congresso l'anno al quale partecipare.



Schema di funzionamento degli «Organi Scientifici»

Possibilità per i fisici

Già dall'elenco delle cattedre si può arguire quali possono essere, in principio, gli spazi per un laureato in fisica al CSM. Molti di loro si occupano, infatti, di microscopia e di metallurgia fisica riguardanti la strutturamicrostruttura metallica, nonché di aspetti di modellistica di processi o di applicazione prodotti.

Molte delle caratteristiche premianti di prodotto quali ad esempio la sua duttilità, tenacità, deformabilità, resistenza allo scorrimento viscoso, saldabilità, resistenza ad usura e corrosione, sono tutte direttamente o indirettamente dipendenti dalla sua struttura cristallina da quella della superficie e/o delle interfacce. L'ottenimento quindi di una struttura adeguata, mediante opportuni processi di colaggio, deformazione, rinvenimento e tempra è uno degli obiettivi primari di un laureato in fisica del CSM, ma che, ovviamente non ne esaurisce le potenzialità verso discipline o altre specializzazioni contigue.

Più in generale, si può però affermare che, oltre a Metallurgia Fisica e Metallografia, tutte le discipline cui serve la conoscenza della struttura allo stato solido e di come questa reagisce alle sollecitazioni derivanti dalle modalità di applicazione, sono aperte ai laureati in fisica. In termini esemplificativi non esaustivi possiamo citare scienza e tecnologia della solidificazione, scienza e tecnologia dei materiali ceramici (per esempio processi di sinterizzazione), processi termomeccanici, meccanica della frattura, scienza e tecnologia delle superfici (per esempio processi di attrito) e dei rivestimenti.

I Fisici al CSM

Rimane a dire quanti sono i laureati in fisica al CSM; sono 30 su di un totale di 162 ricercatori, circa il 20% percentuale non trascurabile.

Debbo affermare che alcuni di questi laureati, dopo un eccellente trascorso come ricercatori, hanno intrapreso con successo la carriera manageriale. Il responsabile dell'Divisione Prodotti e quello del più importante progetto di ricerca industriale del CSM, lo *strip casting* (nuovo concetto di colata continuo dell'acciaio) il Direttore Marketing Strategico ed Operativo sono appunto l'esempio di come un ricercatore laureato in fisica possa anche diventare un buon *manager* responsabile di *budget* o di uno *staff* di riferimento per lo sviluppo dell'azienda CSM.

I FISICI NELLA FOTONICA

S. Morasca

Pirelli Componenti Ottici

Viale Sarca, 222 - 20146 Milano

Il campo d'azione dei fisici comprende oggi, oltre ai tradizionali spettri di impiego, molte attività nate negli ultimi anni, almeno dal punto di vista dell'applicazione industriale; tra queste occupa sicuramente una posizione di rilievo la fotonica, che, con lo sviluppo delle telecomunicazioni su fibra ottica, ha avuto, e vive tutt'ora, un rapido quanto tumultuoso sviluppo.

La fotonica è la disciplina che include le scienze e le tecnologie che studiano e realizzano la generazione e la «manipolazione» della luce e delle altre forme di energia radiante, il cui quanto di energia è il fotone (da cui fotonica). Il campo di applicazione della fotonica si estende dalla generazione e rivelazione di energia, al trasporto, alla commutazione e all'elaborazione dei segnali luminosi.

L'innovazione è senz'altro l'elemento fondamentale dello sviluppo della fotonica e ne guiderà lo sviluppo, i campi di applicazione e di conseguenza la rapida evoluzione nel futuro.

Tra le diverse aziende che nel mondo rivestono oggi un ruolo di primaria importanza nella fotonica si distingue Pirelli, che attraverso lo sviluppo e l'installazione dei primi amplificatori ottici¹ ha portato un contributo decisivo di innovazione nel settore delle telecomunicazioni su fibra ottica.

L'amplificatore ottico ha la funzione di amplificare il segnale luminoso che si propaga lungo la fibra ottica in forma direttamente ottica, cioè senza doverlo convertire in segnale elettrico e successivamente riconvertirlo in segnale ottico. La sua ideazione ed applicazione hanno permesso di evidenziare le potenzialità ed i vantaggi dei sistemi di trasmissione su fibra ottica su lunga distanza aprendo, di fatto, la stagione della fotonica e permettendo il suo successivo decollo.

L'amplificatore ottico è una parte sostanziale dei sistemi di telecomunicazione che si

compongono di diverse altre parti o unità, quali i trasmettitori, i ricevitori, i commutatori, con il necessario corredo di *software* di controllo e dei circuiti elettronici di pilotaggio. A loro volta queste unità sono realizzate con uno o più componenti funzionali.

Quali sono i componenti che si ritengono essere funzionali per un sistema di trasmissione, o meglio, su quali componenti e su quali tecnologie punta Pirelli?

Pirelli crede fortemente nei componenti critici per le linee di telecomunicazioni, dove la criticità del componente si misura in termini del valore aggiunto, della riduzione dei costi e del miglioramento delle prestazioni che essi forniscono al sistema completo: e tra questi possiamo annoverare i laser i modulatori e le fibre ottiche speciali; crede, inoltre, nei componenti e nelle tecnologie più innovative, che implicano *know how* profondo ad esempio: le crescite epitassiali per epitassia da fasci molecolari. Pirelli, infine, crede in componenti dalla non banale realizzazione, in cui il progettista ed il caratterizzatore si possono esprimere ai più alti livelli sia di competenze di base ed applicate che di conoscenze di strumentazione all'avanguardia, necessaria per la realizzazione e la caratterizzazione dei dispositivi.

Per lo studio, la realizzazione e la caratterizzazione sia del sistema completo, sia dei componenti funzionali, sono necessarie diverse figure professionali, che risultano essere costituite nella gran parte da fisici e ingegneri, con diverse aree d'azione.

Le caratteristiche distintive dei fisici sono, in linea di massima, curiosità e fantasia, mentre le caratteristiche degli ingegneri sono, sempre in linea di massima, concretezza e realismo. Tali differenze si riflettono nella diversa preparazione scolastica, più orientata alla scienza di base quella dei fisici, più votata alla tecnica (o scienza applicata) quella degli ingegneri.

Le differenze di mentalità e preparazione fra fisici e ingegneri trovano riscontro nel diverso coinvolgimento e nei ruoli che essi rivestono nelle fasi di sviluppo di un nuovo prodotto. I fisici intervengono prevalentemente all'inizio di una nuova attività, dove c'è bisogno di un contributo fortemente innovativo, mentre gli ingegneri sono coinvolti preferenzialmente nelle fasi di sviluppo e di industrializzazione.

¹ L'amplificatore ottico è stato installato per la prima volta da Pirelli per l'operatore statunitense MCI nel Dicembre '93, sulla linea tra Chicago e Salt Lake City.

I due ruoli sono fondamentali e complementari in quanto, se il *boosting* necessario all'ingresso in un nuovo settore viene in genere fornito dall'*expertise* dei fisici, l'ingegnerizzazione dei componenti, il loro sviluppo ed il trasferimento all'industrializzazione, elementi essenziali per presidiare il mercato reale, provengono tipicamente dagli ingegneri.

Oltre che in momenti differenti della vita di un prodotto, fisici e ingegneri sono anche impiegati in settori diversi della fotonica: i fisici operano maggiormente nei campi dei materiali avanzati e dell'ottica, mentre gli ingegneri, in virtù della loro più specifica preparazione, sono sicuramente avvantaggiati, nei campi dell'elettronica, dell'optoelettronica, delle micro-onde, del *software* e nella realizzazione di banchi di misura.

La distinzione dei ruoli non è comunque mai netta, innanzitutto perché devono comunque essere valutate le attitudini delle singole persone, e poi, perché il lavoro si svolge in *team*, dove sono necessarie competenze complementari ed eterogenee che, nel corso dello sviluppo e della vita del prodotto, permettano di affrontare i diversi problemi da punti di vista differenti.

Il fisico e l'ingegnere si confrontano continuamente sulle diverse attività e sui compiti che, in modo del tutto naturale, si autoassegnano in base alle proprie attitudini. Inoltre, dal momento che il tempo di vita dei prodotti è molto breve, le dinamiche delle aziende si fanno estremamente veloci, per cui la ricerca di base, lo sviluppo e la produzione divengono talmente compenstrate che le travi portanti dei nuovi prodotti, i fisici e gli ingegneri, divengono del tutto indistinguibili.

Di conseguenza estro ed organizzazione, fantasia e concretezza convivono felicemente per lo sviluppo delle nuove tecnologie, dei componenti innovativi e dei sistemi fotonici.

LA DOMANDA DI INNOVAZIONE E L'INSERIMENTO DI RICERCATORI NELLE ATTIVITÀ DI RICERCA DELLE PICCOLE E MEDIE IMPRESE

S. Rimoldi

ASSOTEC – Via Pantano 9, Milano

Ringrazio la Società Italiana di Fisica e in particolare il Suo Presidente Prof. Bassani

della possibilità di poter recare un contributo allo svolgimento dei lavori sul rapporto tra fisici e industria.

Vorrei esporre il punto di vista di chi per professione svolge infatti un ruolo di interfaccia tra industria e mondo tecnico scientifico, posizione da cui è quindi possibile tentare di analizzare queste due realtà.

ASSOTEC, la società costituita da Assolombarda, Camera di Commercio di Milano e dal Consiglio Nazionale delle Ricerche, svolge infatti un ruolo di collegamento e raccordo tra la realtà d'impresa e il mondo tecnico scientifico, con l'obiettivo di stimolare un effettivo trasferimento di *know how* da quest'ultimo alla piccola impresa.

È proprio partendo da questa che è la realtà centrale del nostro sistema industriale (ricordo che la dimensione media delle imprese industriali italiane è di 16 addetti, ma complessivamente esse assorbono il 40% dell'intera forza lavoro) che vorrei iniziare una possibile analisi della domanda di innovazione e vedere quali sono gli effetti traenti sull'offerta di personale ad alta qualificazione e quindi anche sulla comunità dei Fisici.

Come si vede dalla tabella 1, il contributo maggiore alla crescita del nostro sistema industriale proviene da PMI che assicurano il 65% della produzione.

Come è noto poi alla struttura produttiva concorrono fattori di specializzazione settoriale (ovvero la concentrazione nei settori tessile, abbigliamento, lavorazione delle pelli,

Tabella 1. – La realtà della domanda di innovazione.

-
- Più del 65% della nostra produzione industriale viene dalle PMI
 - Collocate nella fascia medio-bassa della tecnologia (solo il 4% è classificabile come *high-tech*)
-
- Grandi imprese e gruppi operano di preferenza in settori «tradizionali» Poco sviluppati i settori «*science driven* o *technology driven*»
-



A tutti serve innovazione per competere nel proprio settore

-
- Difficile identificare grandi «filieri» tecnico-scientifiche e gestire processi «*top down*»
 - Difficile attivare una vera collaborazione industria-ricerca pubblica
 - Necessaria una politica «*botton up*» che favorisca processi spontanei
 - In parallelo occorre ristrutturare la ricerca pubblica
-

Art. 14 Legge Treu

Tabella 2. – Assunzione di dottori di ricerca e laureati esperti nel 1999 da parte di PMI (*).

	Dottori di Ricerca	Laureati Esperti	Stanziamiento (Ml)
PMI	95	159	12.100
Grandi Imprese	2	9	480

(*) Fonte: MURST

fabbricazione macchine elettriche), che enfatizzano il ruolo delle micro imprese e del lavoro autonomo. Solo il 4% delle imprese industriali può essere considerato *high-tech*.

Se guardiamo poi alle poche grandi imprese, molte di queste operano nei settori tradizionali (auto, abbigliamento, gomma) con un ruolo non sempre da *leader* tecnologico nella competizione ormai su scala globale.

Fatte queste premesse, ritengo tuttavia che la PMI possa essere interlocutore della comunità dei fisici sotto diversi aspetti: in primo luogo, la piccola e media impresa ha bisogno, per continuare a competere nei propri segmenti di nicchia, di personale ad alta qualificazione tecnica, quindi di fisici, chimici, ingegneri.

A questo proposito, devo osservare che quando la PMI viene incentivata ad assumere personale per le attività di ricerca, si dimostra particolarmente ricettiva in proposito. Nella tabella 2 è evidenziato l'andamento nel 1999 delle assunzioni agevolate nelle PMI di personale di ricerca.

Anche l'anno scorso, nonostante l'apertura tardiva dei termini, a metà novembre, il plafond pari a 12,4 Ml, è stato esaurito finanziando l'avvio ad attività di ricerca nella PMI di oltre 260 persone.

Dalla tabella 3 si evidenzia una buona distribuzione complessiva della domanda di personale qualificato su tutto il territorio nazionale; le PMI del nord, in particolare, man-

tengono la propria collocazione in comparti industriali.

Se dunque, grazie anche a questi incentivi la domanda delle PMI di risorse qualificate può attivarsi, tuttavia è utile sia da parte della comunità dei fisici, sia da parte degli enti di collegamento come ASSOTEC, evidenziare meglio i contenuti professionali legati alla preparazione del laureato in fisica di interesse per la piccola e media impresa. Infatti, nell'ambito dei dipartimenti universitari e degli Enti di ricerca nelle discipline della fisica, si sviluppano anche progetti a forte valenza applicativa e di potenziale interesse per PMI.

Il secondo aspetto utile a migliorare la collaborazione tra fisici e PMI riguarda quindi il trasferimento di tecnologie, trasferimento particolarmente interessante per le PMI, dato che la ricerca procede in parallelo con un'azione di formazione di giovani all'utilizzo di nuove tecniche.

Questa considerazione deriva anche da esperienze specifiche: ASSOTEC, nel corso del 1999, ha organizzato diversi eventi con lo scopo di rendere noto, specie alle PMI, queste competenze così come le condizioni e gli incentivi per il loro utilizzo. Ricordo, in particolare, la presentazione dei risultati delle ricerche del Dipartimento di Scienza dei Materiali dell'Università di Milano Bicocca e quello del Dipartimento di Fisica dell'Università Statale in cui all'esposizione delle attività di ricerca da parte del docente, era affiancata

17

Tabella 3. – PMI e personale qualificato.

	Dottori di Ricerca	Laureati Esperti	Settori Principali
PMI nord	38	56	servizi (18), elettronico (10), software (9)
PMI centro	27	45	servizi (17), ricerca (8)
PMI sud	30	58	servizi (23), informatica (8), commercio (8)

quella delle tecniche più applicative da parte del ricercatore laureato.

Credo che una delle condizioni di sviluppo dei rapporti tra Industria e Fisici sia proprio quella di proporre soluzioni a misura di PMI interessate alle tecnologie sostitutive di quelle tradizionali. Infatti, da un incontro tecnico sulle tecnologie di rivestimento da fase vapore, iniziativa svolta in collaborazione con il CNR e l'Istituto di Fisica della Materia (INFM), specificatamente rivolta a PMI, sono derivate ricadute significative per la nostra attività.

Oltre alle attività sopra menzionate che vedono l'INFM, ed in particolar modo il Nucleo Applicativo dell'Istituto, un protagonista intelligente, vi sarebbe una terza possibilità di favorire ulteriormente la collaborazione tra la comunità dei Fisici e l'insieme della PMI, sinora non presa in considerazione e suscettibile anche di finanziamenti attraverso il pacchetto Treu.

Com'è noto, l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) costituisce per un segmento qualificato di PMI un importante committente, per realizzazioni a forte contenuto tecnologico. Credo che sarebbe di grande beneficio per entrambi poter attuare dei distacchi temporanei di ricercatori dall'INFN presso le PMI, misura contemplata dalle agevolazioni del «pacchetto Treu».

In tal caso le piccole imprese, da un lato, potrebbero beneficiare di un'iniezione di *know how* e l'INFN, dall'altro lato, potrebbe avere maggiori garanzie circa il puntuale assolvimento, in particolare di quanto riguarda le soluzioni tecnologiche, delle proprie commesse.

Credo, in sintesi, che quando il fisico presenti soluzioni applicative di tipo avanzato purché consolidate e con una seria valenza applicativa, come, ad esempio, quelle sviluppate proprio nell'ambito dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia, sia un interlocutore particolarmente apprezzato dalle PMI.

Per concludere, se mi è concesso, vorrei avanzare una modesta proposta che consenta di tenere vivo e di approfondire il tema di questa giornata.

Sarebbe utile, credo, avere a disposizione un sistema di monitoraggio derivante da un'indagine specifica rivolta ai Fisici che operano nell'industria.

Tale indagine dovrebbe raccogliere in maniera ampia e coordinata le varie esperienze

professionali al fine di consentire a chi lavora in università di valorizzare tali *input* per disegnare nuovi percorsi formativi, indirizzare meglio gli ambiti di ricerca, promuovere attività di trasferimento di tecnologia di particolare interesse per l'industria anche di piccola dimensione.

Si potrebbe quindi pensare, analogamente a quanto già effettuato dal Politecnico di Milano, di effettuare questa ricerca, eventualmente su base regionale, in collaborazione tra i vari dipartimenti universitari della Lombardia interessati e la Società Italiana di Fisica.

Sono a disposizione per approfondire quest'idea e valutarne la fattibilità.

Ringrazio ancora il Presidente per l'opportunità di rendere una testimonianza in questa giornata particolarmente ricca di stimoli e auguro a tutti buon lavoro.

FISICI NELL'INDUSTRIA CHE CAMBIA

L. Gherardi

Pirelli Cavi e Sistemi - Milano

In questa occasione di confronto e di discussione sulla presenza attuale e futura dei fisici nell'ambiente industriale, desidero offrire il contributo di qualche riflessione, senza pretesa di significato «statistico», su quali siano i connotati più tipici della figura dei ricercatori che lavorano in una grande industria. Tra questi, i fisici rappresentano spesso una frazione quantitativamente minoritaria ma particolarmente rappresentativa, se si considera che nelle funzioni di Ricerca e Sviluppo, dove è in genere molto importante se non prevalente la componente di «sviluppo», i fisici sono in genere impiegati nelle attività più squisitamente di «ricerca».

1. – Rapporti con le altre funzioni aziendali

Dal primissimo momento dell'inserimento può capitare (è capitato a me, molti anni fa) di percepire da parte di colleghi di altre funzioni il riflesso di un'immagine un po' stereotipata del ricercatore, dal quale ci si possono aspettare anticonformismo nel vestire, pitto-

resche distrazioni, insofferenza ai vincoli di orario ...

In realtà, l'accettare normali prassi aziendali e relative rigidità di orario o logistiche quali l'organizzazione di una grande azienda può rendere necessarie, non pesa in genere ai ricercatori più che a qualsiasi altra categoria professionale. Ciò che invece può richiedere, almeno nelle fasi d'inserimento, un po' d'impegno specifico è l'«armonizzazione» delle esigenze dei ricercatori con quelle di altre funzioni.

Capita per esempio ai ricercatori di manifestare talvolta insofferenza verso le procedure (standardizzate a livello aziendale) per gli acquisti, che male tollerano, anche se ovviamente ne riconoscono ed accettano la motivazione, quando queste impongano vincoli o ritardi all'acquisto di strumentazione o materiali speciali che ritengono, spesso a ragione, straordinariamente critici ed urgenti.

Alla stessa stregua, i ricercatori sono spesso portatori di esigenze di prodotti o sistemi informatici «anomali» e generalmente più sofisticati rispetto a quelli comunemente usati nel resto dell'azienda. Per questo i rapporti con i colleghi che gestiscono i sistemi informativi sono di solito frequenti e qualche volta particolarmente vivaci.

Del resto è chiaro che, come qualsiasi organismo, un'azienda vive dell'interazione tra funzioni diverse, ed ogni «ruolo» professionale deve confrontarsi in modo costruttivo con altri. È tanto banale a dirsi quanto vero: consapevolezza reciproca, flessibilità e condivisione degli obiettivi generali e dei valori comuni sono gli strumenti che trasformano ogni «diversità» in un arricchimento del comune patrimonio culturale.

Uno dei valori aziendali che è particolarmente importante il ricercatore faccia tempestivamente propri è la sensibilità alla promozione ed alla protezione della cosiddetta «proprietà intellettuale» della società.

La consapevolezza di quanto sia importante e necessario valorizzare i risultati del lavoro di ricerca attraverso una adeguata copertura brevettuale, infatti, non sempre fa parte del bagaglio culturale dei giovani neolaureati; questi anzi possono aver assimilato, in alcuni ambienti accademici (sempre più rari, per la verità), una certa riluttanza verso tutto ciò che sembri porre in qualche modo dei limiti al ruolo di «diffusori di conoscenza», idealmente

votati ad arricchire il patrimonio culturale dell'intera umanità, che i ricercatori riconoscono come proprio. Comprendere come questa sacrosanta aspirazione non sia affatto in contrasto, ma anzi si coniughi perfettamente con l'esercizio di una adeguata protezione del proprio «prodotto intellettuale», richiede dunque qualche volta al giovane ricercatore «industriale» un iniziale sforzo di revisione culturale.

La capacità di integrazione tra le varie funzioni aziendali ha come ovvio presupposto una adeguata capacità di comunicazione. Sono diverse, spesso interessanti e talvolta divertenti le occasioni di confronto tra «linguaggi». Se, per esempio, la «distanza» tra il linguaggio del ricercatore e quello dell'esperto di brevetti non è poi molta, tuttavia la criticità associata all'uso delle parole in questo campo richiede comunque particolare attenzione e, in definitiva, rende necessario che il ricercatore assimili almeno i rudimenti del «brevettese». Oggettivamente più distanti sono in genere la lingua della scienza e quella delle comunicazioni di massa: così mi è capitato di vedere un ricercatore tenere un'appassionata lezione di termodinamica ad un riluttante collega dell'ufficio «relazioni esterne», reo di avere confuso i gradi Celsius con i Kelvin.

2. - Rapporti con istituzioni di ricerca esterne

L'attività del ricercatore (soprattutto del fisico) impiegato nell'industria comprende anche contatti con altre istituzioni di ricerca, come laboratori di ricerca privati o enti di ricerca pubblici. Nel primo caso si tratta più spesso, anche se non sempre, di rapporti «strumentali», che possono esaurirsi nella semplice esecuzione di prove o misure oppure possono consistere in uno studio vero e proprio, ma che in genere riguardano prestazioni che vengono «fornite» dal laboratorio esterno all'azienda, la quale dei risultati si riserva la totale proprietà.

Nel caso di gruppi universitari o altri istituti di ricerca pubblica, invece, è più frequente il caso di vere e proprie collaborazioni scientifiche, centrate su argomenti di comune interesse e di cui la proprietà dei risultati può essere negoziata anche molto diversamente da caso a caso.

A parte le collaborazioni bilaterali, esistono poi le occasioni di partecipazione a programmi di ricerca «promiscui», di solito con finanziamento nazionale od europeo, che rappresentano in genere stimolanti opportunità di confronto, sempre gradite ai ricercatori, anche se talvolta la presenza di un elevato numero di partner, combinata con l'esistenza di vincoli di riservatezza reciproca, possono ridurre drasticamente la produttività.

Un esempio di collaborazione sempre proficua tra università e industria è invece a mio avviso rappresentata dalle cosiddette «tesi esterne», che di solito offrono insieme una importante occasione di comunicazione tra i relatori universitario ed industriale, una significativa presa di conoscenza del mondo della ricerca industriale da parte dello studente (molto spesso si tratta di un anno di *full immersion* in una realtà completamente nuova), ed una occasione privilegiata, per l'azienda, di selezione ed eventuale reclutamento di personale.

3. – Inserimento di fisici vs. altri laureati tecnici — tendenze

Ho cercato, attraverso una piccola indagine storica, di analizzare l'andamento della popolazione dei fisici inseriti nella Pirelli Cavi negli ultimi due decenni. Le semplici indicazioni che ho potuto trarre sono le seguenti.

La prima, confortante, constatazione è che il numero dei fisici in azienda è andato aumentando moltissimo negli ultimi anni, in controtendenza rispetto alla nota e discussa diminuzione del numero degli iscritti ai corsi di laurea in fisica.

Nel tempo, l'inserimento di questi fisici che sono, con pochissime eccezioni, impiegati in quella che sembra la loro collocazione «naturale», ovvero nelle funzioni di ricerca, ha avuto un «picco» molto evidente negli anni 1986-1988; un altro picco, quantitativamente ancora più importante ed ancora non esaurito, ha iniziato a manifestarsi nel 1994 per arrivare ad un «record» assoluto di fisici neo-inseriti nel 1997. Questi andamenti appaiono direttamente correlati con l'impulso che negli anni corrispondenti hanno avuto in Pirelli attività di ricerca estremamente innovativa in campi come la superconduttività e, soprattutto, la fotonica. Queste indicazioni, interessanti in

assoluto, possono poi essere integrate estendendo la statistica alla categoria degli ingegneri, i laureati tecnici di gran lunga più numerosi in azienda.

Osservando, al confronto, come si sia evoluto nel tempo il numero degli ingegneri inseriti per anno si trova un andamento qualitativamente molto simile, decisamente amplificato nei valori assoluti, e, cosa a mio avviso particolarmente interessante, caratterizzato da picchi «sfasati» in avanti nel tempo (ritardati) di circa due anni. Questo «sfasamento» sembra dunque indicare come l'azienda abbia valorizzato particolarmente il ruolo dei fisici nelle fasi iniziali, strategicamente le più critiche, delle ricerche più avanzate.

Da queste osservazioni, a cui, come premesso, non pretendo di attribuire validità universale, mi sembra comunque emergano indicazioni globalmente positive sulla qualità del rapporto tra azienda e fisici. Un rapporto che sembra riflettere da un lato la sostanziale intelligenza, da parte dell'azienda, del contributo «nobile» che i fisici possono portarvi, e, dall'altro, la capacità dei primi di integrarsi costruttivamente, senza snaturare la propria identità, in una realtà industriale complessa.

FISICA E MEDICINA

L. Conte

*Servizio di Fisica Sanitaria Ospedale di Circolo e Fondazione Macchi,
Azienda Ospedaliera - Viale Borri, 57
21100 Varese*

Può forse sembrare strano che nell'ambito di un Convegno dedicato ai rapporti tra Fisica e Industria si inserisca un intervento che riguarda i temi della Fisica Medica. Tuttavia il fatto che questo mio intervento non sia del tutto fuori luogo risulta evidente se si parte da alcune sintetiche considerazioni:

1) L'area della medicina, nel suo complesso, si avvale sempre più dei risultati delle ricerche e delle applicazioni nel campo della fisica e della tecnologia; un ospedale oggi dispone di un patrimonio di attrezzature complesse che non possono correttamente essere utilizzate senza elementari conoscenze dei

principi fisici e delle caratteristiche tecniche di tali apparecchiature nonché, sempre più, di conoscenze applicative dell'informatica; è ovvio che tali conoscenze dovrebbero in primo luogo essere possedute, almeno a livello elementare, dal personale medico e paramedico a diretto contatto con il paziente; tuttavia il contributo di figure professionali che abbiano conoscenze approfondite degli aspetti fisici, computazionali e ingegneristici che stanno alla base delle tecnologie impiegate in medicina è oggi quanto mai indispensabile.

2) L'Associazione Italiana di Fisica in Medicina (AIFM) ha avuto nel 1999 circa 500 aderenti che comprendono in maggioranza fisici che lavorano nei servizi di fisica sanitaria degli ospedali, policlinici, istituti di ricerca in campo medico, ma anche fisici dell'area ambientale e fisici universitari che fanno ricerca in fisica medica; se si considerano anche coloro che non hanno ancora aderito alla AIFM credo che si debba aggiungere qualche altro centinaio di fisici che operano nel campo della fisica in medicina. Comincia inoltre a manifestarsi, sia pure in forma ridotta, una richiesta di fisici da parte di aziende che operano nel campo della diagnostica per immagini e della radioterapia. Se si torna indietro di qualche decennio, quando i fisici che operavano nel campo della medicina erano qualche decina, ci si rende conto che vi è stata una crescita non solo quantitativa ma anche qualitativa in questo settore a cui ha corrisposto non solo un incremento della ricerca applicata alla medicina ma anche la nascita di una professione che è quella del fisico sanitario o meglio, secondo una denominazione di origine anglosassone, del fisico medico.

3) Il fisico medico, all'interno di quelle che oggi vengono chiamate aziende ospedaliere, svolge un'attività che ha riflessi diretti sulle prestazioni diagnostiche e terapeutiche in particolare nei settori della radiologia, medicina nucleare e radioterapia, ma non soltanto. Tale attività è finalizzata principalmente all'ottimizzazione di tali prestazioni nel senso di garantirne la qualità e nello stesso tempo ridurre i rischi per i pazienti. Ciò comporta una collaborazione, nel rispetto delle competenze di ciascuno, con medici e personale paramedico. Vi è inoltre una collaborazione anche con altri settori ospedalieri, inclusa la direzione, finalizzata a fornire un contributo tecnico nel campo delle risorse tecnologiche e per la sicurezza nel loro

impiego. Sono anche necessari rapporti con le industrie produttrici e fornitrici di apparecchiature impiegate in medicina. Il fisico si pone in questo modo come interfaccia tra le industrie e gli utilizzatori di tali apparecchiature, principalmente i medici, e chi ha la responsabilità di garantirne l'acquisizione o la manutenzione. In misura ancora limitata si stanno sviluppando rapporti di collaborazione tra fisici e industrie che operano nel campo della sanità per progetti di ricerca applicata così come avviene da tempo in altri paesi.

4) La figura del fisico medico esiste da tempo anche nei paesi della Comunità Europea e, in particolare, in quelli di origine anglosassone dove la fisica medica ha avuto da decenni il maggior sviluppo. In tali paesi la formazione del fisico in medicina comporta un titolo universitario e successivamente un iter formativo teorico e pratico che in Italia realizza attraverso le scuole universitarie di specializzazione in fisica sanitaria dopo la laurea in fisica. Nell'attuale ordinamento le scuole di specializzazione hanno una durata quadriennale e includono un periodo di tirocinio pratico da svolgersi nelle strutture ospedaliere dove sia presente un servizio di fisica sanitaria. Una preoccupazione che si sta manifestando nella AIFM riguarda la necessità di chiarire se l'attuale iter formativo, laurea più scuola di specializzazione quadriennale, sia da considerare un elemento acquisito o se i cambiamenti in atto nel corso di laurea debbano nuovamente rimettere tutto in discussione. Si tenga presente che fino a poco tempo fa la durata delle scuole di specializzazione era di due o tre anni e che la durata quadriennale deriva dalla legislazione nel campo della sanità che assimila al personale medico il personale laureato non medico. Infatti le scuole di specializzazione mediche hanno una durata di almeno quattro anni dopo la laurea. Credo che su questo punto si debba sviluppare una approfondita discussione anche nell'ambito della SIF.

Nel complesso l'area della fisica medica e della fisica ambientale rappresentano, sia nei settori pubblici che privati, un'occasione di lavoro per i fisici che non può essere trascurata. Queste attività richiedono in ogni caso una adeguata preparazione di base che fino ad oggi è stata garantita dal corso di laurea e dalla specializzazione. Qualunque siano le future soluzioni per quanto riguarda l'iter formativo di queste figure non si potrà prescindere da criteri

che non compromettano la qualità della formazione e che facilitino la possibilità di specializzarsi disponendo di borse di studio, come avviene per le specialità mediche.

Esiste il rischio che in questo campo, dopo anni di progressi si possano fare passi indietro con conseguenze negative non solo per la professione del fisico medico o ambientale ma anche per la qualità e la sicurezza delle prestazioni fornite agli utenti. In questa direzione sembra infatti che si stia andando con la legislazione che sta per recepire la Direttiva Euratom in materia di radioprotezione del paziente. Ciò si verifica perché, sia nelle strutture sanitarie sia nelle facoltà di medicina, la fisica come attività professionale e come attività didattica e di ricerca subisce tentativi di ridimensionamento che non vanno nella direzione di migliorare i livelli delle prestazioni o delle attività didattiche e di ricerca ma piuttosto sembrano dirette a tutelare altre categorie e altri interessi.

Nel 1964 a Roncegno si svolse un convegno internazionale sui rapporti tra Fisica e Medicina, su iniziativa dell'allora Ministro della Sanità, a cui parteciparono illustri medici e fisici italiani e stranieri. Rileggendo gli atti del Convegno ci si rende conto dell'importanza di quella iniziativa che segnò la nascita della Fisica Medica in Italia. Dopo tanti anni molte cose sono cambiate e si avverte la necessità di ripetere quell'esperienza, di cui la SIF insieme all'AIFM potrebbe farsi promotrice, con lo scopo di aprire un dibattito con il mondo della medicina, e anche dell'industria, su come debbano svilupparsi tali rapporti e quali possano essere le prospettive future.

22

THE ROLE OF THE PHYSICIST IN THE INDUSTRIAL ORGANIZATIONS OF THE XXI CENTURY: WHAT AND HOW

N. O. Lipari *

*Lipari International Consulting
Baldwinsville, NY 13027 USA*

1. – Introduction

Materials have been central to the growth, prosperity, security, and quality of life of hu-

* e-mail: nunzio@dreamscape.com

mans since the beginning of history. Without new and better materials, and their efficient production, our modern world of machines, computers, automobiles, aircraft, communication equipment, and structural products could not exist. Material scientists are at the forefront of these and other areas as they achieve increased levels of understanding and control of the basic building blocks of materials: atoms, molecules, crystals, and non-crystalline arrays. Physics plays a key role in the understanding of the elements that define the field of material science: properties, structure and composition, synthesis and processing, performance, and the strong interrelationship among them.

The need for improved and new materials makes the role of physics, as well as other scientific disciplines, a critical ingredient to their successful industrial implementation.

2. – Industrial organizations in the XXI century

The world economy has undergone a profound structural transformation in the last decade and a half. The forces that are at the heart of this transformation include: global economy, the information highway, increased competitiveness, shorter product cycle time, demand for quality and service. This transformation, also called the third industrial revolution, is leading to a fundamentally altered industrial and occupational order, characterized by flatter and less hierarchic organizational structures, broader workers responsibilities, unprecedented levels of entrepreneurial dynamism.

The keys to competitive advantage are innovation, quality, time to market, and cost. The global economic transformation requires a reassessment of the physics/industry community interaction.

3. – Physics and industry interaction

As briefly discussed earlier, physics is but one, though very important, of the scientific disciplines necessary to the understanding and development of materials. Chemistry, en-

gineering, mathematics and others, are also critically involved in the definition of material science. The interconnectivity among these disciplines, often neglected in the university environment, is a key aspect of science relevant to industry. It is this aspect that often determines the choice of the materials that satisfy the stringent product requirements. The role of the scientist in the industrial world is that to promote and enhance technology transfer, *i.e.* provide the knowledge necessary to go from ideas to products. This means providing the required understanding of existing strategic areas and exploring new areas of potential strategic importance. Traditionally this has been generally accomplished by a one-directional process that went from research, to development, to manufacturing in each industry. The role of the universities was primarily in the research stage of this process. The profound transformations in the world economies and industrial structures necessitate a totally different and much more pervasive role of the scientist. The physicist plays a key role in the technology transfer process both within any given industry («proprietary knowledge»), and in the interaction with outside institutions («precompetitive knowledge»). This requires a rethinking of all the aspects that determine a successful physics/industry interaction.

An on-going dynamic partnership, not casual, opportunistic contacts, between the universities and the industry must be established. This partnership is critical to the health and competitiveness of both the university and the industry, and in the end of the national economy.

4. – Key elements of successful physics/industry interaction

A successful long-term partnership between Physics and Industry must address the elements of the interaction and the infrastructure in which they are implemented. The three key elements are: skills, industry needs, and matching. For each of these elements, it is necessary to define the specific components, how they are executed, how they are measured, and how they are improved.

Moreover they all need to have clear owners and supporters.

4.1. – Skills

The universities have the responsibility of preparing the students with the skills necessary to effectively contribute to the needs of the industry. The preparation must start its evolution within the physics community, before entering the job market. Students should be explicitly encouraged to spend time in «user environment». The average duration of the time that it takes to obtain the physics degree is generally too long and should be shortened. Faculty members should be required to expand their understanding on how physics works in the product «food chain» by spending some time away in the industry. Increased emphasis should be given to developing new courses and new textbooks that deal with a modern view of materials and their applications. Industrial scientists should be visibly involved in the academic environment to illustrate successful cases of physics at work. A variety of mechanisms can be applied, including: sabbatical to (or from) industry, interdisciplinary courses, workshops, physics success cases, topical conferences, co-op programs, etc.

Universities should be much more actively involved, both at the student as well as the faculty level, in the industrial work environment. Industrial «apprenticeship» of the physics students should be encouraged. Faculties should not be «cloning» their students but preparing them for a variety of possible roles.

4.2. – Industry needs

The emphasis on increased competition, constant innovation, speed to market and quality enhances the dependence of any industry on external organizations. The trend within each industry is to focus on core competencies which are strategic to the company and to obtain the additional required resources from alliances or partnerships. The need for ever more fundamental materials knowledge for new product introduction requires

the hiring of highly scientifically trained personnel. A variety of mechanisms to address these areas are: on-site topical conferences, workshops, new start-up opportunities, alliances, etc.

Globalization and increased market competitiveness trends require a more aggressive industrial role. Innovation is constantly changing the working environment, thus creating new business areas and eliminating others. «Coopetition» is emerging as the most effective approach to assure competitive success.

4.3. – Matching

A healthy physics/industry interaction requires, in addition to an improved university training of skills and of more aggressive industrial pursue of opportunity areas, an infrastructure that provides a constant flow from one to the other, with proper feedback mechanisms designed to assure that the processes are continuously improved. The infrastructure should address both the advancement of technical work and of professional career paths. This can be accomplished with the establishment of databases, career centers, focused research contracts, definition of new start-up areas, etc.

University, Industry and Government must work together to identify, promote, and execute technical and career opportunity areas. All three organizations, «triple-helix», are essential to the success of the physics/industry interaction and to the national competitiveness.

5. – Conclusions

The transformations presently occurring in the economy are leading to a massive redefinition of the market directions, thus causing the downsizing of some areas and the introduction of many new opportunities. Modern industries have a crucial dependence on advances in materials sciences, and therefore physics. The need for constant innovation and speed to market requires that the universities play an essential role throughout.

The interaction between physics and industry is vital, both to sustain the necessary work underlying materials science and to strongly encourage students to enter the field by exposing them to real-world problems. In the long term, scientists, and physicists in particular, can have a strategic impact even in areas which are not directly connected to those specific to their own scientific training. They can play prominent roles beyond the laboratory and into the broader industrial world, thus contributing to the creation of new jobs and wealth. An effective physics/industry interaction promotes this process.

There is a strong sense of urgency.

«Times, they are a changin ...»

Set up initiatives that establish the physics/industry interaction as a dynamic long-term partnership

«Just do it».

ALCUNE IDEE E INIZIATIVE PER ESTENDERE LA COLLABORAZIONE TRA FISICA E IMPRESA

C. Rizzuto *

INFN - Genova

Anziché analizzare il solo rapporto tra fisica e industria (e, all'interno delle industrie, prevalentemente quella manifatturiera), si deve analizzare il rapporto più esteso e complesso tra la fisica (intesa come cultura generata attraverso la ricerca e l'insegnamento) e le attività economico-imprenditoriali e gestionali in cui la fisica può diventare un elemento traente dell'innovazione, se integrata in una cultura di base scientifica multidisciplinare.

Attualmente sia il mondo della ricerca che quello imprenditoriale sono in un periodo di transizione e di grandi cambiamenti, indotti dal riavvio della globalizzazione interrotta con le due guerre mondiali e dalla fine della contrapposizione dei due blocchi formati dopo la seconda guerra. Sono sostanzialmen-

* Presidente del Nucleo applicativo INFN, e della Società Sincrotrone Trieste, e-mail: rizzuto@infm.it.

te ritornate in primo piano le considerazioni di tipo economico-competitivo, diminuendo o eliminando quelle di tipo strategico-ideologico che sono state alla base di molta politica della ricerca scientifica e industriale, in particolare in Italia, negli ultimi cinquanta anni. Per la mancanza di un governo intelligente dell'intervento pubblico nel nostro Paese, molti cambiamenti stanno avvenendo senza una guida che ne attenui gli effetti più negativi, ed è necessario che i singoli Enti, Università, settori, ecc., (tra cui in particolare i fisici) abbiano una visione chiara dei cambiamenti complessivi, per tentare di guidare, anziché subire, lo sviluppo.

In questo quadro è opportuno analizzare la probabile evoluzione delle attività di impresa e professionali di cui l'Italia e l'Europa avranno bisogno per competere nel mercato globale. In particolare vanno corrette le distorsioni di tipo cosiddetto «strategico» ancora presenti a livello di intervento pubblico, e, in particolare, il disaccoppiamento tra valutazione dei costi e analisi dei valori della ricerca.

Alla luce dei punti principali dell'analisi di cui sopra, possiamo evidenziare una serie di punti di forza e di punti di debolezza nella fisica, e nei fisici attualmente attivi nelle istituzioni di ricerca o formati nelle università, che permettono di attivare azioni correttive, tali da migliorare il posizionamento delle nostre attività di ricerca e di formazione nelle opportunità del mercato economico-imprenditoriale sia italiano che europeo ed extraeuropeo.

Quanto sopra ha costituito il punto di partenza per costruire un complesso di azioni che l'INFM sta sviluppando, in un contesto multidisciplinare e integrato, per contribuire a un cambiamento culturale nel campo della ricerca-formazione e a un miglior collegamento con le attività di impresa-gestione nel nostro Paese e in Europa.

Venendo ad alcuni elementi più specifici che riguardano l'INFM, l'attività dell'Istituto è stata impostata fin dall'inizio sullo stimolo alla massima mobilità del personale scientifico e tecnico (limitando la creazione di ruoli fissi e utilizzando contratti a termine di vario tipo, in particolare quelli di formazione-lavoro, legati ai progetti condotti con l'esterno). Inoltre si è posta particolare cura nello sviluppo di una continua valutazione dei costi, e

delle risorse proprie e universitarie, e nell'operare sul mercato dei contratti di ricerca industriali e comunitari, con un riconoscimento concreto dell'impegno individuale. Ciò ha permesso di avviare una migliore valorizzazione, in senso applicativo ed economico, del *know how* e della formazione sviluppati attraverso le attività di ricerca, e di acquisire un crescente numero di contratti industriali. Questo sviluppo si rafforza anche in base al fatto che, ormai, laureati e dottorati sono in prevalenza assorbiti dalle industrie e dai servizi, e permette di far sì che le risorse finanziarie per i progetti di ricerca (al netto delle infrastrutture) siano in buona parte ottenute attraverso contratti.

Questa interazione col mondo economico non ha, però, ancora l'estensione che si ha negli altri paesi europei, ed è troppo limitato alla sola industria manifatturiera.

INFM ha, quindi, attivato un complesso di iniziative tra loro collegate, per allargare il proprio mercato e per contribuire meglio alla capacità della società di assorbire, in modo diffusivo e competitivo, la conoscenza generata dalla ricerca.

In particolare, il trasferimento tecnologico e il sostegno alla creazione di nuove imprese, si stanno rivelando come mezzi molto efficaci per sviluppare questo obiettivo, e anche per innovare la cultura della ricerca italiana.

Molte delle azioni, di cui qui segue l'elenco, sono state messe a punto attraverso l'applicazione di criteri di qualità e di rilevanza per il territorio socioeconomico preferendo la diffusività dei risultati alla visibilità dei progetti.

Le azioni principali in atto presso l'INFM sono:

1. La Focalizzazione della Ricerca Applicata (FRA): Progetti applicati diretti allo sviluppo di prototipi di interesse industriale (prodotto, processo, *software*...), vengono attivati in collaborazione, ma solo se cofinanziati da un'impresa o utilizzatore finale su risorse proprie. Durata un anno, finanziamento marginale (aggiuntivo alle risorse esistenti) fino a 50 milioni, coinvolgimento di borsisti del Fondo Sociale Europeo. (Attualmente ne sono in atto 10.)

2. *Spin Off* dalla ricerca: sostegno all'avvio di nuove imprese ad alto contenuto tecnico-

scientifico, con l'utilizzo agevolato di strumentazione, spazi, *know how* e servizi, e con il finanziamento dell'analisi tecnico-economica dell'impresa e delle spese di avvio e/o di formazione per il primo anno. Questa azione ha dato luogo all'avvio (nel primo anno) di undici nuove imprese e, in collaborazione con «Imprenditoria Giovanile s.p.a., alla selezione, negli ultimi sei mesi, di 25 nuove proposte di impresa da avviare nel mezzogiorno, selezionate tra oltre settanta proposte.

3. Gestione della proprietà intellettuale e industriale sviluppata nella ricerca. Questa azione mira a far riconoscere il valore della ricerca di base, e dei suoi risultati, sia dai ricercatori che dai potenziali utilizzatori esterni. Essa è basata sulla verifica del potenziale commerciale di un'idea/ritrovato prima del brevetto, anche tramite accordi di confidenzialità con potenziali utilizzatori. L'azione prevede anche un supporto di consulenza per la negoziazione di licenze a imprese, e la commercializzazione dei ritrovati, oltre a una equa remunerazione e un riconoscimento ai ricercatori coinvolti.

4. Formazione e trasferimento tecnologico. Questa azione è principalmente basata su borse, da utilizzare in *stages* condotti in collaborazione tra ricerca istituzionale e attività industriale o di servizio. Attualmente ne sono in atto oltre cento, finanziate con risorse proprie INFMM e/o del Fondo Sociale Europeo.

5. Repertorio delle tecnologie sviluppate attraverso la ricerca. Questa azione, attualmente in avvio tramite *web*, metterà a disposizione degli utenti esterni tutte le informazioni utili a individuare sia le tecnologie e/o i possibili progetti, che le persone di contatto diretto per una collaborazione efficace.

6. Rete professionale e consulenze. Questa azione si basa su un crescente *network* di «alumni», formati attraverso la ricerca e operanti nell'industria, a cui viene offerta la opportunità di aggiornamento sugli ultimi sviluppi, e la possibilità di operare come consulenti verso terzi o come *tutors* per la formazione e *stages* di studenti e borsisti.

7. Ricerca su contratto: progetti di ricerca su richiesta di industrie/servizi e su programmi europei o nazionali. INFMM riesce ad acquisire con questi circa il 20% delle proprie risorse finanziarie complessive (circa la metà di quelle destinabili a progetti).

8. *Network* per lo sviluppo di piccole «pre-

serie» di strumenti o prototipi per la ricerca scientifica (NESSO). Sostiene parte della spesa di produzione e ingegnerizzazione, per arrivare a un collaudo e dimostrazione sul «mercato interno» INFMM (e istituzionale), in vista di una loro commercializzazione sul mercato esterno, eventualmente tramite gli «spin-off».

9. Progetto SUD (e aree di crisi industriale): Serie di piccoli progetti, finanziati sui fondi strutturali o sulla legge 488, che attivano ricerche e sviluppi tra Università/INFMM e Industrie prevalentemente piccole, mirando al raggiungimento di un autosostentamento nel periodo di due-tre anni. Questa azione si è sviluppata fin dall'avvio dell'Istituto e costituisce la base su cui si sono create le condizioni per molte delle altre azioni.

10. Azioni di divulgazione e didattica scientifica, con impostazione di tipo commerciale. Si è provveduto a sostenere l'avvio di due (per ora) ditte, rispettivamente per la produzione di multimediali didattici e di giochi scientifici, diretti sia alla didattica ai vari livelli che alla divulgazione scientifica e alla diffusione di metodi per la gestione della ricerca e dei risultati.

Tutte queste attività sono coordinate e sostenute dal Nucleo Applicativo¹ e dal collegato *network* di persone (in buona parte con precedenti esperienze imprenditoriali), che le seguono stimolando la crescita di una professionalità diffusa in ambito universitario e istituzionale.

¹ e-mail: ttarea@infm.it; gna@infm.it

POSSONO I CORSI DI LAUREA E DOTTORATO IN FISICA PROMUOVERE UN'IMPRENDITORIA INNOVATRICE?

E. Scalas

*Università del Piemonte Orientale,
Dipartimento di Scienze e
Tecnologie Avanzate*

Corso Borsalino, 54, 15100 Alessandria

1. – Introduzione e motivazioni

Negli ultimi mesi, da più parti, si è riconosciuta la necessità dell'eccellenza scientifica e

tecnologica per sostenere lo sviluppo del paese⁽¹⁾. Per l'Italia, si tratta di una situazione di assoluta novità, anche se bisogna sempre tenere ben presente che le tendenze anti-scientifiche e irrazionaliste restano molto forti⁽²⁾. D'altro canto, si è osservato che il sistema produttivo italiano non è particolarmente forte nei campi tecnologicamente avanzati e che la formazione universitaria non sembra essere adeguata alle esigenze di competitività internazionale⁽³⁾.

La fisica italiana si inserisce nello scenario sopra riassunto con alcune peculiari caratteristiche. Da un lato, la ricerca è molto integrata nello scenario internazionale e presenta caratteristiche di eccellenza che non sono eguagliate da alcun'altra disciplina nel nostro paese. Vi è dunque, almeno in linea di principio, una grande potenzialità per il trasferimento di conoscenze e saperi operativi al sistema produttivo. Dall'altro lato, si assiste, negli ultimi anni, a un calo notevole dei nuovi iscritti, nonostante le conoscenze di fisica siano essenziali per la gestione delle tecnologie e per l'innovazione⁽³⁾.

Il lavoro svolto in questo periodo dai consigli di corso di laurea per l'adeguamento ai nuovi ordinamenti didattici offre un'opportunità unica per individuare soluzioni al problema della crisi degli iscritti disegnando, nello stesso tempo, percorsi formativi professionalizzanti. Nell'individuare questi percorsi, sia per chi si laurea sia per i dottori di ricerca, non bisogna dimenticare che esiste la possibilità di mettersi in proprio. Pertanto, occorre permettere agli studenti e ai dottorandi interessati a fare impresa di prepararsi adeguatamente.

2. – Alcune modeste proposte

Il sottoscritto è socio di una piccola impresa, *Lab33*, che produce strumentazione scientifica nel campo biofisico ed è *spin-off* dell'Istituto Nazionale per la Fisica della Materia⁽⁴⁾. Ha imparato sul campo a districarsi tra norme e tributi o tra notai e bilanci, argomenti che non fanno parte delle normali conoscenze di un fisico. Eppure, con costi contenuti per le Facoltà di Scienze e le Università, i corsi di laurea e di dottorato in fisica potrebbero aiutare a colmare, almeno parzialmente, queste lacune.

In generale, a meno di avere genitori dirigenti d'azienda o imprenditori o di aver frequentato un istituto tecnico commerciale (un tipo di scuola media superiore dalla quale ben pochi si iscrivono a fisica) si arriva alla laurea e al dottorato di ricerca senza conoscere la distinzione tra società di persone e società di capitali per non parlare della differenza tra azioni e obbligazioni (e qui può darsi che la recente moda dell'*e-trading* venga in aiuto). Non si sa neppure leggere un bilancio societario o apprezzare la distinzione tra un conto economico e uno stato patrimoniale. I nostri laureati e dottori di ricerca sono quindi degli ottimi lavoratori dipendenti poiché, mediamente, non conoscono neppure nulla di relazioni sindacali, di TFR, di statuto dei lavoratori: una vera manna per i datori di lavoro. Le persone non tagliate per il lavoro dipendente si trovano in difficoltà, non solo perché faticano a reperire finanziamenti per la loro idea, ma anche perché devono apprendere in fretta e furia l'abc della finanza e dell'economia aziendale.

All'Università di Ulm hanno pensato di risolvere questo problema in modo drastico con uno *Studienplan Wirtschaftsphysik* (che in italiano suonerebbe come: *piano di studi in econofisica*) dove allo studio della meccanica quantistica si affianca lo studio della teoria delle decisioni collettive e della teoria microeconomica⁽⁵⁾. Senza voler arrivare a tanto, non dovrebbe essere impossibile inserire nei percorsi formativi per i fisici corsi di base di economia *ad hoc* o magari mutuati da altri corsi di laurea o di dottorato.

Un'altra semplice innovazione consisterebbe nel dare la possibilità agli studenti e ai dottorandi di passare un periodo di *stage* presso aziende, ma non necessariamente nei laboratori di ricerca.

Non bisogna, infine, dimenticare che una buona idea imprenditoriale e conoscenze adeguate di finanza ed economia non bastano a fondare un'impresa. Servono anche i soldi. Per aumentare la mobilità sociale e rendere disponibili nuove risorse per l'Italia, è quanto mai opportuno permettere anche a chi non possiede grandi capitali di partenza di cimentarsi nell'imprenditoria. Tuttavia, è ancora scarso l'aiuto che le strutture universitarie italiane forniscono per il reperimento di informazioni sui programmi di finanziamento pubblici, sui crediti agevolati o sul *venture*

capital. Infine, con un po' di impegno organizzativo in più, le Università stesse potrebbero far partire programmi di *spin-off* tecnologici e di incubazione di imprese.

3. - Conclusioni

Per concludere, a parere di chi scrive, la risposta alla domanda posta nel titolo è affermativa. I corsi di laurea e di dottorato in fisica, i dipartimenti di fisica, gli istituti di ricerca nazionali possono veramente fare la differenza e contribuire alla promozione di un'impresa innovatrice. Il patrimonio culturale della fisica italiana è una ricchezza per il paese. Nel passato, le condizioni al contorno non sono state particolarmente favorevoli a una profonda osmosi con il tessuto produttivo. Ora la situazione è cambiata: il momento è propizio per agire come forza trainante, contrastare le tendenze antiscientifiche e formare una nuova generazione di scienziati-imprenditori.

Note e riferimenti bibliografici

- (1) Vi è forte attenzione ai temi della ricerca e della tecnologia sia da parte delle forze politiche sia dei sindacati e del padronato. Per esempio la piattaforma CGIL-CISL-UIL per il diritto all'istruzione superiore e la riforma universitaria, presentata al governo nel giugno 1998, così recita: «[...] Il sistema universitario italiano presenta, accanto a punte di eccellenza, livelli insoddisfacenti di produttività. L'insufficiente numero di laureati e diplomati; la crescente selezione sociale nell'accesso e nel completamento degli studi; il tasso inaccettabile di dispersione, pari a circa il 70% degli studenti immatricolati; l'eccessiva durata degli studi e la peculiarità tutta italiana dei «fuori corso»; il basso grado di «occupabilità» dei titoli di studio e la sostanziale assenza di corsi di formazione continua; la scarsità delle risorse per la ricerca e il suo debole legame con la domanda dei sistemi produttivi: sono fatti che accendono un'ipoteca grave sul futuro del nostro paese e sulla sua competitività nel mercato globale [...]». Ecco cosa scrive, invece, CONFINDUSTRIA nel documento *Il rilancio della competitività in Italia, analisi e proposte* del novembre 1999: «L'Italia si trova in una posizione di arretratezza rispetto agli altri partners europei, in termini di risorse umane e finanziarie dedicate all'attività di ricerca e di sviluppo tecnologico (tabb. 1 e 2 in calce a questo

paragrafo). Le domande per brevetti presentate dal nostro paese all'Ufficio Europeo dei Brevetti sono il 7,2% del totale contro il 15% di Francia e Gran Bretagna ed il 40% della Germania (fig. 1). La bilancia dei pagamenti tecnologica, a differenza che negli altri paesi UE, è strutturalmente in passivo, anche se in tendenziale miglioramento. Gran parte del passivo è determinata dalle royalties che le imprese italiane pagano per acquisire il diritto di sfruttamento di proprietà intellettuali, know-how, ecc. di operatori esteri: nel 1998 il saldo relativo a royalties e licenze è stato negativo per 1.174 miliardi di lire, a riflesso di importazioni dall'estero di tali servizi pari a circa 2.000 miliardi. Il ritardo tecnologico, oltre ad incidere sui livelli di competitività dell'intero sistema produttivo, rischia di ampliarsi ulteriormente il gap nei confronti dei nostri concorrenti in quelli che saranno i settori chiave del futuro (informatica, telecomunicazioni, biotecnologie, ecc). Da tempo il sistema industriale sollecita un cambiamento profondo nel modo di impostare e gestire gli interventi di politica della ricerca: occorre che la ricerca si traduca sempre più in innovazione, cioè in risultati concretamente applicabili, tali da alimentare il circolo virtuoso ricerca/innovazione/investimenti/reddito, con effetti positivi sulla competitività industriale.»

- (2) Valga per tutti l'esempio della mozione 1-00095 del Senato della Repubblica del 12 marzo 1997 contenente nelle premesse osservazioni a dir poco discutibili: «Il Senato, premesso: () che, di fatto, ci troviamo realmente in uno scenario «futurista»: quello di una scienza in grado di programmare gli individui; pochissimi «alfa plus» per il comando, pochi «alfa» per mansioni dirigenziali, molti «beta» per posti di impiegati, e moltissimi «gamma» per i lavori più umili, così come «utopizzato» dallo scrittore Huxley molti anni fa; constatato: che gli scienziati, in particolare modo i cultori della microbiogenetica, assicurano di essere immuni da qualsiasi condizionamento da poteri politici e/o economici e si proclamano solamente al servizio dell'autentico progresso dell'umanità, anche se ricercato con metodi e manipolazioni sempre più invasivi; che l'opinione pubblica non appare disposta a dar credito alla capacità di autoregolazione etica da parte della comunità scientifica; che, infatti, la soluzione di uno scienziato sempre più esasperato non soddisfa le esigenze umane più profonde e, al contrario, svuota l'essere umano delle sue risorse, rendendolo mero contenitore di «potenziali» cloni elevabili all'infinito, senza contare i rischi che comporterebbe lo sfruttamento economico di queste biotecnologie; [...]»
- (3) La crisi degli iscritti a fisica è un fenomeno comune ai paesi tecnologicamente avanzati. Nell'agosto del 1999, i presidenti delle società europee di fisica si sono riuniti per discutere il problema. In Germania il numero degli iscritti al primo anno di fisica che aveva raggiunto le 10000 unità nel 1991 è sceso a 5000 nel 1998. Si veda l'articolo di Heather McCabe *Physicists unite to combat a crisis of falling numbers* apparso su *Nature* del 9 settembre 1999 a pagina 102.
- (4) Informazioni sul programma di *spin-off* dell'INFM si possono trovare all'URL seguente: http://www.infm.it/NUCLEOAPPLICATIVO/spin_off.html
- (5) Il piano di studi, in tedesco, è disponibile all'URL: <http://www.physik.uni-ulm.de/stud/studwirt.html>

In ricordo di Giuliano Preparata



Giuliano Preparata è deceduto il 24 aprile scorso dopo lunga malattia. Era nato a Padova il 10 marzo 1942 e si era laureato all'Università di Roma con Raoul Gatto nel novembre del 1964. Si trasferì subito a Firenze, prima come borsista e successivamente come incaricato di fisica del neutrone, occupandosi degli

spettri degli adroni. Seguì il periodo americano che durò fino al 1973, prima a Princeton e ad Harvard come *Research Associate*, poi alla Rockefeller University come *Assistant Professor* ed infine alla New York University come *Associate Professor*. Tornato all'Università di Roma fu assistente di Fisica Superiore con Marcello Conversi. Nel 1974 vinse il concorso a cattedra di Fisica Teorica e venne chiamato all'Università di Bari nel 1975. Nel 1986 vi fu il trasferimento all'Università di Milano. Dal 1974 al 1980 fece parte della divisione teorica del CERN.

Ha prodotto più di 400 lavori pubblicati ed un libro (*QED Coherence in Matter*, World Scientific, Singapore, 1995).

La sua attività scientifica ha spaziato in pressoché tutti i settori, esclusa la meteorologia. Si definiva uno studioso che aveva dedicato circa quarant'anni della sua esistenza allo studio della fisica «con qualche puntata nel mondo della biologia e della chimica».

Diede contributi alla formulazione del modello standard delle parti-

celle elementari. In particolare ha proposto un meccanismo per spiegare il confinamento dei quark all'interno degli adroni. La sua proposta ha suscitato parecchie discussioni.

Recentemente con Remo Ruffini ha dato contributi alla spiegazione dei *jet* giganti di raggi gamma, uno dei più spettacolari fenomeni dell'astrofisica rilevati con gli ultimi satelliti.

Personaggio contro corrente, ha sottolineato in svariate polemiche la necessità di vedere oltre l'interazione «meccanicistica» fra particelle singole, per evidenziare il ruolo dei fenomeni legati alla coerenza dei campi quantistici. In questo senso sono andate le sue «puntate» nel mondo della biologia e della chimica. Gli attuali studiosi della «fusione fredda» gli attribuiscono la formulazione dell'unica teoria oggi in grado di spiegare il controverso fenomeno.

Ringrazio Emilio Del Giudice per i dati biografici.

Lanfranco Belloni
Università di Milano

In ricordo di Francesco Paolo Ricci



Francesco Paolo Ricci era nato a Casoli (Chieti), il 4 Ottobre 1930 ed è deceduto a Roma, il 27 Febbraio

2000. Si laureò nel 1955 presso l'Università degli Studi di Roma «La Sapienza». Lo stesso anno divenne Assistente presso il Dipartimento di Fisica. In quegli anni Edoardo Amaldi volle promuovere l'attività di spettroscopia neutronica in Italia e Francesco Paolo Ricci ottenne una borsa di studio per svolgere attività di ricerca al MIT con il Premio Nobel C. G. Shull: lì cominciò anche a lavorare alla progettazione del primo diffrattometro per sistemi non cristallini, da installare al Centro di Ricerche di Ispra. Dal 1958 al 1961 lavorò come Ricercatore al CNEN e al centro di Ispra dove portò a termine alcuni tra i primi esperimenti di diffrazione neutronica da liquidi molecolari. In seguito a questa irripetibile e stimolante esperienza è divenuto uno dei padri della neutronica in Italia.

Nel 1961 tornò a «La Sapienza», prima come Assistente e poi come Professore Ordinario di Struttura

della Materia nel 1973. Nel 1992 è stato tra i fondatori dell'Università degli Studi Roma Tre, dove è stato anche il primo Preside della Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali.

Durante la sua carriera ha dato un notevole impulso allo sviluppo della spettroscopia neutronica in Italia, contribuendo anche attivamente alla stipula di accordi tra gli Istituti di Ricerca Italiani e le Facilities Internazionali. Grazie a questi accordi la comunità scientifica italiana, coinvolta in ricerche di spettroscopia neutronica, è cresciuta sia numericamente che qualitativamente in questi anni. La rilevanza del suo contributo alla spettroscopia neutronica è confermata dai numerosi incarichi internazionali che ha ricoperto.

Maria Antonietta Ricci
*Dipartimento di Fisica E. Amaldi
Università di Roma Tre*

In memoria di Umberto Maria Grassano



Umberto Maria Grassano ci ha lasciati il 4 Maggio 2000. Aveva 61 anni e da qualche tempo era affetto da un male incurabile. Lascia sconsolati la moglie Anna e il figlio Marco, oltre a tutti noi che ne abbiamo apprezzato le elevate qualità morali, la dedizione alla ricerca e all'Università, la chiarezza e lucidità del suo procedere scientifico. Era sempre pronto a farsi carico dei problemi degli altri, in special modo degli studenti, sia a livello personale che delle istituzioni. Nell'ultimo anno, già provato da un male inesorabile, aveva accettato, per spirito di servizio ma con giovanile determinazione, l'incarico di Presidente del CCL in Fisica: un compito molto delicato e gravoso nel periodo di passaggio al nuovo ordinamento.

Si era laureato in Fisica all'Università di Pavia, alunno del Collegio Ghislieri, nel 1961. Nel 1963 si era trasferito all'Università di Messina e poi, nel 1965, all'Università di Roma «La Sapienza». Nel 1980 era tornato a Messina come Professore Straordinario di Fisica Molecolare e dal 1981 era diventato Professore Straordinario e poi Ordinario di Fisica dello Stato Solido all'Università di Roma «Tor Vergata». Aveva trascorso vari periodi di studio all'estero: all'Imperial College nel 1962, alla Cornell University nel 1975, all'Università di Nimega nel 1981 e 82. Condirettore del corso «Excited state spectroscopy in solids» della Scuola E. Fermi di Varenna nel 1985, Direttore del Gruppo Nazionale di Struttura del-

la Materia del CNR dal 1996 al 1998, membro del Consiglio direttivo e della Giunta esecutiva dell'Istituto Nazionale di Fisica della Materia dal 1987 al 1997, Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università di Roma «Tor Vergata» dal 1991 al 1993, Presidente del Consiglio di Corso di Laurea in Fisica della stessa Università dal 1983 al 1986 e dal 1999 alla sua morte.

L'attività scientifica di Umberto Grassano ha riguardato principalmente le proprietà ottiche dei cristalli ionici (specie quelle associate ai difetti reticolari) e si è sviluppata in modo coerente nell'arco di un quarantennio: dai centri di colore, ai Laser per infrarosso, all'ottica non lineare, ai nuovi materiali.

Numerosi sono stati i suoi contributi scientifici di grande rilievo. Senza pretesa di completezza, desidero elencare i seguenti:

- Nel 1996 ha introdotto (in collaborazione con lo scrivente) il metodo che oggi viene chiamato «pump and probe», applicandolo, con sorgenti ottiche tradizionali, allo studio degli stati eccitati del centro F (*Phys. Rev. Lett.*, **16**, 124 (1966)).

- Nel 1996 ha pubblicato (con lo scrivente e con R. Rosei) la prima osservazione sperimentale dell'effetto Stark del second'ordine del centro F (*Phys. Rev. Lett.*, **17**, 1043 (1966)). Ha esteso in seguito questa tecnica a molti altri centri, facendone uno strumento di altissima qualificazione per lo studio degli stati eccitati non raggiungibili da transizioni a un fotone (lavori in collaborazione con G. Margaritondo, R. Rosei, M. Bonciani, A. Scacco, A. Tanga).

- Nel 1974 ha pubblicato (in collaborazione con F. De Martini e F. Simoni) la prima osservazione dell'emissione stimolata da centri F eccitati (*Optics Comm.*, **11**, 8 (1974)). L'articolo contiene la proposta di costruire un Laser a centri di colore. Ha in seguito collaborato alla realizzazione dei primi Laser italiani a centri di colore (*Revue Phys. Appl.*, **18**, 301 (1983)), in collaborazione con G. Baldacchini, P. Violino ed altri).

- A seguito della sua lunga attività nel campo dell'ottica non lineare, nel 1986 ha esteso il range dell'assorbimento a due fotoni al campo spettrale della radiazione di sincrotrone, osservando gli eccitoni 2p e 3p nel KCl a 8.5 eV (*Europhys. Lett.*, **2**, 571 (1986), in collaborazio-

ne con F. Bassani, M. Casalboni, M. Piacentini ed altri) che non sono accessibili con le normali sorgenti ottiche.

- Ha sviluppato negli anni una pregevole attività di ricerca sul ciclo di colore nei centri di colore (*Sol. State Comm.*, **21**, 225 (1977); *Phys. Rev. B*, **16**, 5570 (1977); *Phys. Rev. B*, **20**, 4357 (1979), in collaborazione con G. Baldacchini e A. Tanga).

Non ha avuto la soddisfazione di veder pubblicato il libro: *Fisica dello Stato Solido* che ha scritto con Franco Bassani (uscito lo scorso Luglio per i tipi di Bollati Boringhieri). Resterà una delle testimonianze che ci ha lasciato, a compimento della sua lunga attività di studio e di ricerca.

Umberto era un uomo buono, dotato di intime convinzioni religiose che non ha mai ostentato e che lo hanno molto aiutato negli ultimi mesi di sofferenza.

Aveva due «hobbies»: la montagna e la musica classica. Forse trovava nell'immensità della natura e nella profondità della musica la risposta e l'appagamento al continuo indagare del suo spirito.

Ha vissuto serenamente l'ultimo mese della sua vita, con l'ironia distaccata e saggia di chi è ormai al di sopra delle vicende umane, quasi scusandosi per il disturbo che arrecava agli amici e per le cose non fatte. Ha tuttavia vissuto compiutamente fino all'ultimo, partecipando, anche se da lontano, alla vita del Dipartimento. Ricordo che l'ultima volta che lo vidi, pochi giorni prima della morte, un suo collaboratore gli portò il testo dattiloscritto di un lavoro. Egli lo prese e assicurò che lo avrebbe letto e commentato! E ancora: la lettera di dimissioni da Presidente del CCL fu firmata il giorno prima di morire, anche se porta una data anteriore: «perché le mie condizioni di salute mi impediscono di esplicitare l'incarico in modo adeguato». Questo era Umberto! Un esempio per tutti noi e, forse, un velato rimprovero per quelli che, chiusi nei loro orgogliosi studi o laboratori, non hanno capito che l'interesse generale e quello della comunità cui apparteniamo condizionano le possibilità di sviluppo del proprio gruppo, delle proprie ricerche, della propria disciplina.

G. Chiarotti

Università di Roma «Tor Vergata»

In ricordo di Vittorio Mazzacurati



Vittorio Mazzacurati, nato a Roma nel 1942 e laureatosi in Fisica a Roma nel 1966 è stato ricercatore del CNR prima di diventare Professore Universitario a «La Sapienza». Nel 1993 è divenuto Professore Ordinario all'Aquila. Dal 1995 è stato Direttore della Sezione «Liquidi e Sistemi Disordinati» dell'INFM.

Insigne ed appassionato studioso di fisica della materia, ha iniziato la sua attività di ricerca in fisica dei liquidi ed in particolare nello studio, mediante spettroscopia Raman, di acqua e soluzioni. È rimasto sempre molto legato a questa tecnica sperimentale cui ha apportato, con il suo ingegno e la sua caparbia dedizione, un contributo internazionalmente riconosciuto. In questo contesto voglia-

mo ricordare il suo apporto alla realizzazione di diversi strumenti innovativi ad altissima risoluzione quali il doppio monocromatore a quadruplo passo SOPRA DMDP2000, la strumentazione per scattering anelastico di Raggi X presso la BeamLine 21 ad ESRF, ed infine il monocromatore UV «HIRESUV» in corso di completamento.

In queste due ultime realizzazioni in particolare ha dato brillante prova delle sue capacità di raffinata progettazione meccanica e ottica.

Le tematiche scientifiche cui il suo nome resterà legato vanno dalla comprensione dei meccanismi microscopici alla base dello scattering di luce, neutroni e raggi X da sistemi disordinati, alla natura delle ec-

citazioni collettive in sistemi densi, liquidi e amorfi. Ricorderemo in proposito soprattutto il suo continuo sforzo per dare una sistemazione formalmente unificante ai risultati sperimentali ottenuti con le diverse tecniche spettroscopiche.

Il suo entusiasmo per la ricerca scientifica si rifletteva in un impegno didattico di alto livello di cui, insieme ai suoi studenti, anche noi portiamo vivo il ricordo grazie ai suoi manoscritti didattici, in splendida calligrafia, nei quali si riscontra la stessa tensione verso un formalismo unificante che troviamo nel suo lavoro di ricerca.

Il desiderio di impegnarsi per un miglior funzionamento dell'INFM lo ha portato a dimenticare la sua innata avversione per l'uso dei computer e a promuovere l'informatizzazione della gestione della ricerca, realizzando il programma «Evidenze», adottato ufficialmente dall'Istituto e ben conosciuto anche al di fuori.

I suoi collaboratori ed allievi infine non dimenticheranno mai le sue qualità umane di correttezza e integrità morale come pure il suo esuberante spirito conviviale e la sua passione e dedizione per la ricerca che si protraevano di regola ben oltre i luoghi e le ore di lavoro, trasformando spesso un dopo cena tra colleghi o una gita in barca a vela in un momento di informale ma profonda creatività scientifica».

Michele Nardone

Unità INFM

c/o Terza Università di Roma

Giovanni Signorelli

Unità INFM dell'Aquila

(pubblicato sul Bollettino INFM n. 44, Giugno 2000, per gentile concessione)

SCIENZA IN PRIMO PIANO

NOVITÀ SULLE ANISOTROPIE DEL FONDO COSMICO

A. Melchiorri

Dipartimento di Fisica, Università di Roma, La Sapienza

Dipartimento di Fisica, Università di Roma, Tor Vergata

32

Forse l'aspetto più importante, anche se non sempre adeguatamente sottolineato, della teoria del *Big Bang* sta nella ipotesi che l'universo attuale con la sua notevole complessità e varietà di processi tragga origine da una fase estremamente più semplice ed omogenea. Se questo *trend* verso la semplicità nel passato è vero, allora lo studio dell'universo lontano offre significativi vantaggi ai cosmologi per verificare le loro teorie. L'immagine più antica a nostra disposizione è quella offerta dallo studio della radiazione di fondo cosmico, i cui fotoni hanno viaggiato per quasi venti miliardi di anni prima di giungere a noi. All'epoca della loro emissione l'universo si ritiene fosse radicalmente diverso da oggi: assenza di strutture complesse, come stelle e galassie, presenza di un "fluido cosmico" composto essenzialmente da idrogeno ed elio ionizzati, omogeneità generale con sovrapposte piccole fluttuazioni di densità e temperatura con distribuzione gaussiana (o quasi gaussiana). Per descrivere il comportamento dell'universo in queste condizioni bastano pochi numeri, noti come "parametri cosmologici". C'è innanzi tutto la densità della materia e dell'energia misurate rispetto ad un valore di riferimento, detto densità critica. Possiamo formalmente scrivere che la densità totale Ω_{tot} è data dalla somma di tante componenti,

$$\Omega_{\text{tot}} = \Omega_{\text{b}} + \Omega_{\text{nb}} + \Omega_{\text{A}} + \dots,$$

dove "b" sta per barionico, "nb" per non-barionico, A per energia legata alla cosiddetta costante cosmologica ecc. C'è poi il "parametro di espansione" o costante di Hubble che oggi misura la velocità di recessione apparente delle galassie ed è stimato intorno a 50-100 km/s/Mpc. Infine le perturbazioni presenti inducono irregolarità sulla temperatura della radiazione di fondo e possono essere caratterizzate in modo completo dal loro spettro di potenza angolare, cioè dalla potenza $\langle(\Delta T/T)^2\rangle$ alle varie scale angolari $\Delta\theta = \pi/\ell$ dove ℓ è il numero d'onda corrispondente, nello sviluppo in armoniche sferiche, alla scala angolare $\Delta\theta$.

La semplicità di questa rappresentazione ha alcune conseguenze importanti. Innanzi tutto lo spettro di potenza delle perturbazioni può essere predetto con grande precisione una volta che sia noto il meccanismo che le ha prodotte: si tratta di risolvere una versione "linearizzata" (perché le perturbazioni sono piccole) dell'equazione del trasporto di Boltzmann: esistono oggi opportuni codici numerici che possono essere applicati sia al caso di perturbazioni prodotte dal campo scalare della *inflation*, sia a quelle prodotte dalla presenza di difetti topologici, tanto per citare due degli effetti possibilmente generati a seguito di transizioni di fase nell'universo primordiale. Il codice noto come CMBFAST va per la maggiore e fornisce in una manciata di secondi accurate predizioni per qualsiasi modello inflazionario. L'idea di poter produrre un modello realistico di universo primordiale in 30 secondi con il PC di casa è certo suggestiva. Il meccanismo di generazione di perturbazioni legato alla *inflation*, essendo concentrato in una epoca breve e precisa nella storia dell'universo, conserva la coerenza di fase tra le armoniche sferiche nelle quali le perturbazioni vengono sviluppate e studiate: ne segue una facile predizione. Lo spettro di

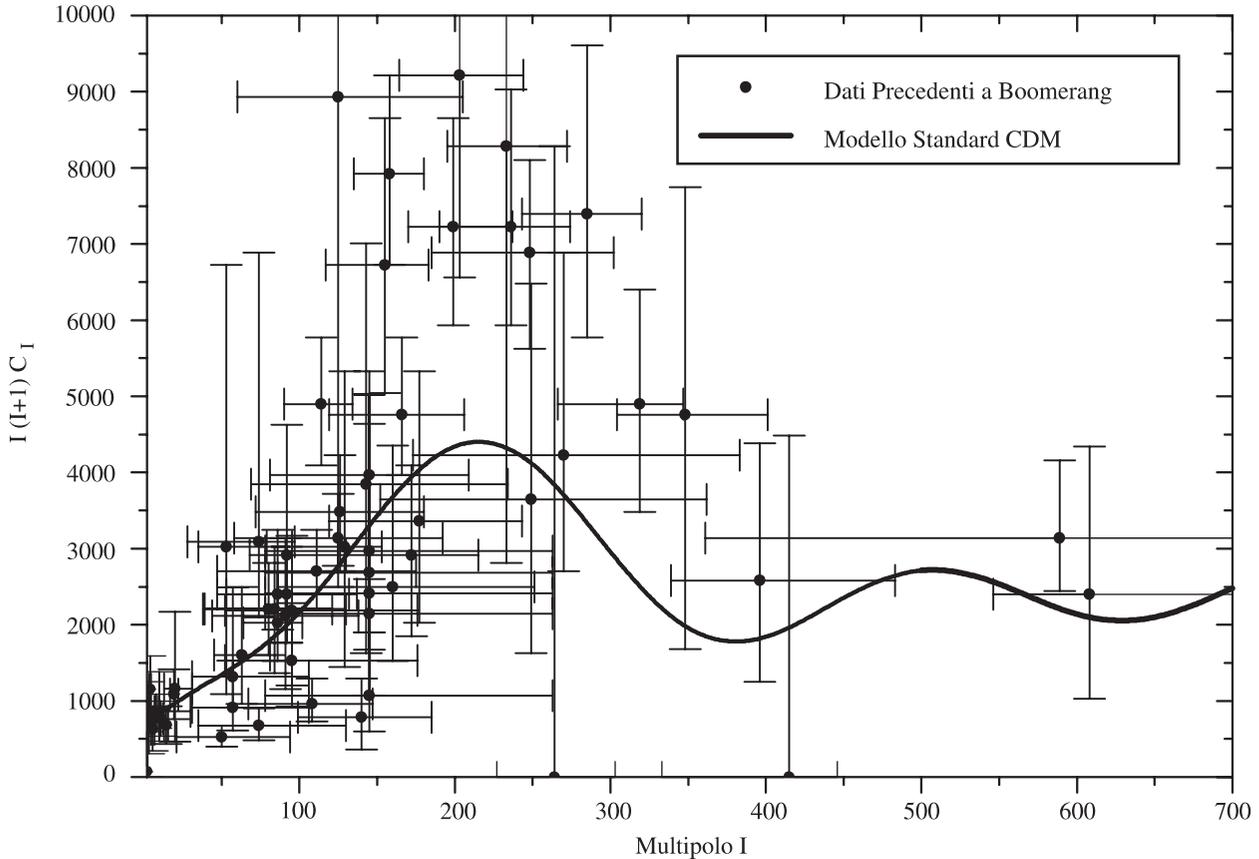


Fig. 1. – Spettro di potenza delle anisotropie del fondo cosmico come previsto dal modello teorico “standard” ($\Omega_{\text{tot}} = 1$; Materia barionica + *Cold Dark Matter*) e come descritto dai risultati pre-BOOMERANG. In ascissa è indicato il “multipolo” l inversamente proporzionale alla scala angolare (si veda il testo), mentre in ordinate è riportato il valore quadratico delle fluttuazioni di temperatura (in microKelvin quadrati) alla scala angolare corrispondente. Il primo picco approssimativamente intorno ad $l \approx 200$ corrisponde alla scala dell’orizzonte causale all’epoca dell’ultimo scattering tra fotoni e materia (*redshift* circa 1000). La grande incertezza dei dati deriva soprattutto dalle difficoltà di calibrazione tra i vari esperimenti e al limitato tempo di osservazione.

33

potenza sarà caratterizzato dalla presenza di oscillazioni alle varie scale angolari a partire dalla scala massima corrispondente all’orizzonte all’epoca del disaccoppiamento tra fotoni e materia (vedi fig. 1). Così la posizione del primo picco nello spettro di potenza diviene una sensibile misura della densità totale Ω_{tot} poiché la scala angolare alla quale esso ci appare è determinata dall’azione di lente gravitazionale dell’universo. La forma dello spettro su scale angolari successive, inoltre, è fortemente dipendente dal contenuto barionico Ω_b , dalla costante di Hubble e dal *redshift* di una possibile reionizzazione del mezzo intergalattico. Lo spettro di potenza delle anisotropie del fondo cosmico diviene quindi una vera e propria miniera d’oro per gli avidi cercatori di parametri cosmologici.

Queste interessanti possibilità hanno portato i cosmologici a coniare il nome di *preci-*

sion cosmology per una disciplina che sarebbe dovuta nascere a seguito di misure accurate delle anisotropie del fondo cosmico.

Fino a qualche anno orsono i fisici non erano propensi a credere che la teoria inflazionaria potesse essere provata attraverso osservazioni relativamente semplici da terra o su piattaforme sub-orbitali (aerei, palloni stratosferici) e, di conseguenza, la nascita della *precision cosmology* era rimandata ad un lontano futuro, quando accurate misure da satellite avessero risolto molti dei dubbi che circondano le osservazioni fatte da terra o da pallone stratosferico. Era infatti chiaro che con la sensibilità attuale dei rivelatori sarebbero occorsi un certo numero di giorni per coprire una zona di cielo abbastanza ampia da dare significato statistico alle osservazioni: l’instabilità intrinseca dei rivelatori e la difficoltà ad eseguire precise misure di cali-

brazione rendono poi non confrontabili tra loro (se non con grande incertezza) risultati ottenuti da differenti strumenti o anche dallo stesso strumento ma in tempi diversi. La fig. 1 mostra il grado di incertezza dei risultati raggiunti fino al 1998: mediare tra loro quei valori significa commettere una scorrettezza statistica, perché non è affatto chiaro se gli errori sistematici nelle calibrazioni giocano in modo casuale o meno.

A tutte queste incertezze ha messo di recente la parola fine l'esperimento BOOMERANG, una collaborazione tra vari istituti europei e statunitensi, guidata da Paolo de Bernardis (Università di Roma La Sapienza) ed Andrew Lange (California Institute of Technology). L'idea vincente di questo esperimento è stata quella di utilizzare un volo di pallone stratosferico eseguito in Antartide: sfruttando i venti in quota il pallone ha circumnavigato il continente antartico e si è ripresentato sopra la base di lancio dopo dieci giorni di osservazioni. Così lo stesso strumento ha lavorato per lungo tempo in condizioni ambientali stabili. BOOMERANG consisteva in un telescopio di circa 130 cm di diametro con due specchi raffreddati a 2 K che rifocalizzano l'immagine su un mosaico di rivelatori operanti a 0.3 K tra circa 100 e 400 GHz, intorno al massimo dello spettro della radiazione di fondo cosmico.

Per quanto brillante fosse l'idea di utilizzare i venti antartici per eseguire un'osservazione di lunga durata, l'obiettivo sarebbe stato vanificato se non si fossero prese opportune precauzioni sugli effetti disastrosi dei raggi cosmici. Particelle e fotoni di alta energia producono segnali nei rivelatori, sotto forma di "picchi" che richiedono la rimozione di ampie zone di segnale prima e dopo l'evento. Ai poli magnetici terrestri la penetrazione dei raggi cosmici aumenta ed è facile aspettarsi una molteplicità di eventi dato che le dimensioni lineari dei bolometri impiegati devono essere maggiori della lunghezza d'onda massima osservata, cioè svariati millimetri. L'idea vincente è stata quella di sviluppare dei nuovi bolometri, detti "a ragnatela" (*spider web bolometers*) dove l'assorbitore era costituito da una ragnatela di grafite con fori piccoli rispetto alla lunghezza d'onda: così la ragnatela appariva come una superficie continua per le radiazioni millimetriche e presentava invece un grande rap-

porto vuoto-pieno per le particelle ad alta energia.

I risultati preliminari di BOOMERANG, ottenuti durante un volo di prova da Palestine in Texas (30 Agosto 1997) sono stati messi in rete l'anno scorso pubblicati sull'*Astrophysical Journal Letters* (A. Melchiorri *et al.*, astro-ph/990642). Da questo primo volo è stato possibile evidenziare la presenza del primo picco intorno ad $\ell \simeq 200$ e determinare la densità totale dell'Universo intorno a $\Omega_{\text{tot}} = 1.0 \pm 0.25$.

Conviene notare che le osservazioni più recenti sulla densità di materia ed energia dell'universo indicano un contenuto di materia barionica molto minore dell'unità e, anche aggiungendo eventuale materia non barionica, si arriva a 0.3–0.4. La misura di BOOMERANG prova dunque l'esistenza di una altra forma di energia, che domina gravitazionalmente l'universo. È probabilmente la stessa indicata da recenti misure della relazione distanza di luminosità-*redshift* per le supernovae di tipo Ia. Per brevità la si indica con Ω_{Λ} , ma resta aperto il mistero della sua natura e della sua origine. L'aspetto positivo del risultato di BOOMERANG 97 è quello di mostrare un accordo straordinario con le predizioni dell'*inflation*: è forse per questo che, paradossalmente, non ha scosso più di tanto le menti dei cosmologici teorici, dato che un universo "piatto" ($\Omega_{\text{tot}} = 1$ corrisponde ad una metrica Euclidea in espansione, detta appunto "metrica piatta") era proprio quello che ci si aspettava. Il volo successivo dall'Antartide, della durata di 11 giorni (de Bernardis *et al.*, *Nature*, **404** (2000) 955-959), ha decisamente migliorato la statistica, ma con l'aumento di sensibilità sono anche divenuti più importanti i piccoli effetti sistematici che questo tipo di esperienze necessariamente deve affrontare (vedi fig. 2). Se ci si basa sull'analisi formale dei dati, il modello cosmologico preferito è risultato parzialmente chiuso ma agevolmente compatibile con la piatezza $\Omega \sim 1.06 \pm 0.06$. I picchi secondari, al contrario, non sono stati trovati. Quella che quindi doveva essere la prova definitiva dell'*inflation* (la sequenza di oscillazioni acustiche dello spettro) è venuta a mancare clamorosamente. Il risultato su Ω non preoccupa più di tanto, dato che la statistica non è fortemente significativa; inoltre, la presenza di un termine importante quale Ω_{Λ} garanti-

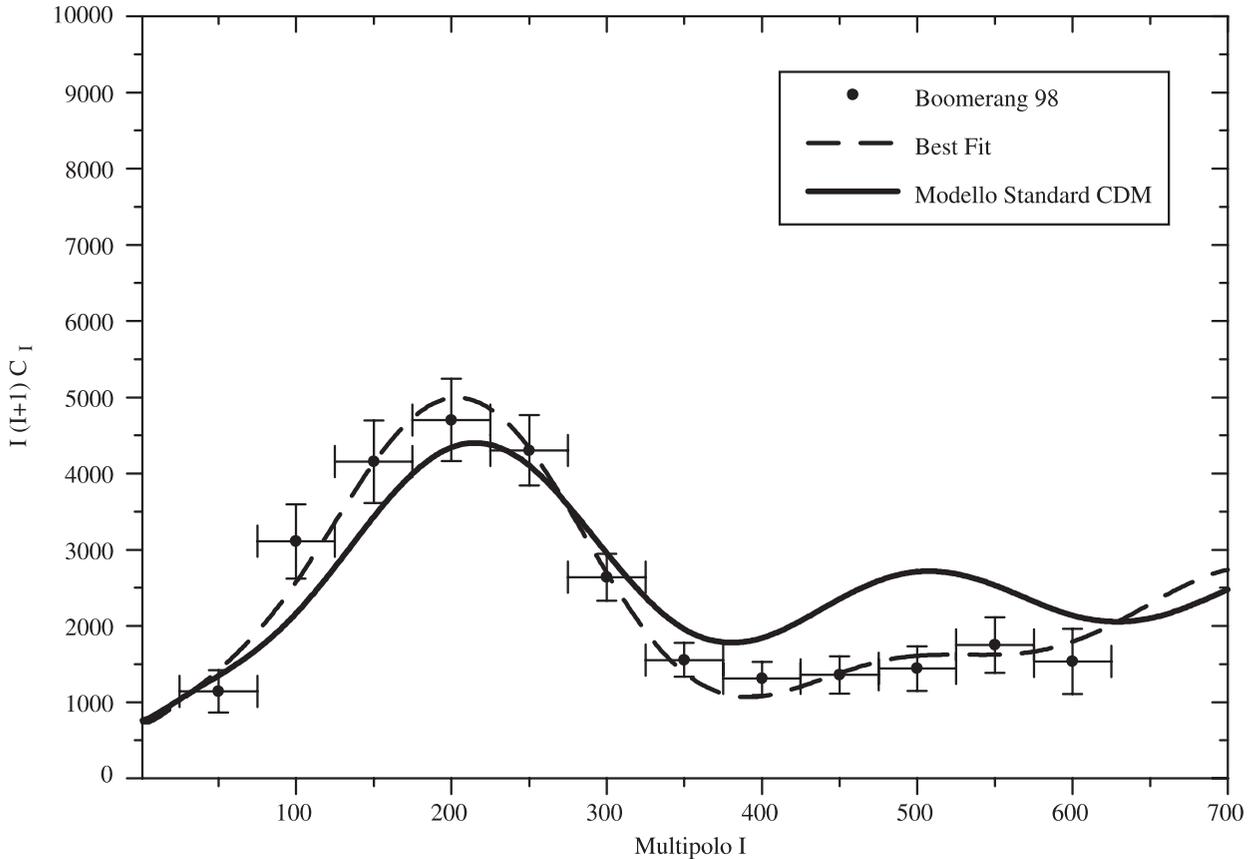


Fig. 2. – Dati di BOOMERANG confrontati con il modello teorico che presenta il minimo scarto dei dati ($\Omega = 1.06$, $\Omega_b h^2 = 0,03$): si noti il basso valore del secondo picco dovuto al consistente contributo barionico. La curva teorica già riportata in fig. 1 non è più il miglior *fit* dei dati.

sce che l'universo è in espansione per sempre, anche se Ω_{tot} è lievemente maggiore dell'unità. Quindi il quadro dinamico dell'universo non cambia. In conclusione, a tutti gli effetti, BOOMERANG 98 prova che $\Omega = 1$ è l'ipotesi più valida. L'assenza dei picchi secondari è meno attribuibile ad errori sistematici, ed è stata ulteriormente confermata dall'esperimento "concorrente" Maxima (Hanany *et al.*, 2000). Tuttavia anche qui occorre esercitare la massima prudenza. Al momento varie spiegazioni si sono date: da una dipendenza dalla scala dello spettro primordiale ad una forte densità di barioni, tale da spostare i picchi secondari su scale più piccole, non osservabili da questi esperimenti. Tuttavia la quantità di barioni proposta supera nel migliore dei casi i limiti imposti dalla nucleosintesi primordiale ed uno spettro iniziale delle perturbazioni fortemente distorto (o, come si dice *tilted*) non è certo il modello inflazionario prediletto. Le spiegazioni proposte fino ad ora suonano poco convincenti e

conviene attenersi alla massima di Eddington secondo la quale "un risultato sperimentale deve essere considerato con sano scetticismo fino a quando non vi sia una teoria che lo interpreti". Se i risultati di BOOMERANG-Antartide verranno confermati dai voli futuri (un nuovo volo è previsto per il 2001) o dal satellite MAP (previsto per lo stesso anno) allora dovremo concludere che l'universo primordiale è meno semplice di quanto ci si aspettava o almeno non proprio completamente risolvibile in 30 secondi di calcoli sul PC di casa propria.

Bibliografia

- Risultati di BOOMERANG 97: P.D. MAUSKOPF *et al.*, astro-ph/99114444 accettato per pubblicazione su *Astrophys. J. Lett.*; MELCHIORRI A. *et al.*, astro-ph/9911445, accettato per pubblicazione su *Astrophys. J. Lett.*
 Risultati di BOOMERANG 98: P. DE BERNARDIS *et al.*, *Nature*, 404, 955-959 (2000); A. LANGE *et al.*, astro-ph/0005004.
 Risultati di Maxima: S. HANANY *et al.*, astro-ph/0005123; A. BALBI *et al.*, astro-ph/0005124.

FISICA E...

PROBLEMI ACUSTICI DI UN TEATRO: ANALISI E INTERVENTI.

G. Zambon e E. Sindoni

Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio - Università degli Studi di Milano-Bicocca

1. - Introduzione

L'acustica era considerata sino agli anni cinquanta una delle materie fondamentali di studio nei corsi universitari di Fisica. Poi, per motivi non del tutto comprensibili, ha cominciato a essere quasi totalmente ignorata, sino a diventare la 'Cenerentola' della Fisica. Solo in pochissime Università, e quasi esclusivamente nei corsi di laurea in Ingegneria e Architettura, si tiene ancora qualche lezione di acustica, mentre sono rarissimi i corsi specifici dedicati a questo argomento. La situazione sta tuttavia cambiando, soprattutto a causa delle crescenti preoccupazioni per la salvaguardia dell'ambiente e della qualità della vita, con la consapevolezza che è diventato prioritario porre un limite all'aumento continuo del livello di ogni tipo di inquinamento. In particolare, si è cominciato a prendere in seria considerazione il problema dell'inquinamento acustico che, in misura sempre maggiore, supera il livello di tollerabilità, a causa dell'aumento sia del numero sia della potenza delle macchine utilizzate nelle fabbriche, del traffico automobilistico, di quello aereo e ferroviario, degli impianti di riscaldamento e di condizionamento. La consapevolezza dei danni psichici e fisici prodotti da elevati livelli di rumore, con la necessità di ottemperare alle norme legislative, ha portato allo sviluppo sia di sistemi di diagnostica sempre più raffinati sia di efficienti metodi di isolamento acustico. I sistemi di diagnostica hanno lo scopo di for-

nire misure fisiche del livello di rumore nelle bande acustiche e di confrontarle con i criteri predeterminati di accettabilità, per decidere quindi i necessari interventi. Per questi scopi, presso l'Area Fisica del Dipartimento di Scienze dell'Ambiente e del Territorio dell'Università degli Studi di Milano-Bicocca ha iniziato a operare da qualche anno un laboratorio didattico in cui gli studenti fanno pratica sulla strumentazione e su alcune delle tecniche base riguardanti le misure acustiche: rilevamento dei segnali acustici, analisi in intensità e frequenza, analisi di vibrazioni meccaniche, taratura e uso di fonometri, uso di particolari *software* per l'analisi dei risultati. L'aver acquisito le competenze e la strumentazione atta a varie tipologie di misure acustiche, ci ha portato a estendere l'attività anche al campo dell'acustica di interni. L'occasione è scaturita da una richiesta pervenutaci dalla direzione del Teatro Strehler di Milano. Si richiedeva che l'acustica della sala del teatro, progettata per ospitare rappresentazioni in prosa, potesse venire modificata in modo da essere in grado di estendere la sua attività anche a eventi musicali. I primi concerti eseguiti avevano infatti mostrato l'inadeguatezza della sala, sollevando parecchie perplessità da parte della critica.

Questo lavoro intende presentare le problematiche che abbiamo dovuto affrontare, i metodi di misura adottati e infine gli interventi che ci hanno permesso di apportare notevoli miglioramenti alla qualità acustica del Teatro.

2. - Requisiti acustici per un teatro

Come ricorda Michael Forsyth in «Edifici per la musica» (Zanichelli, 1987), il fisico inglese esperto di acustica Hope Bagenal sole-

va dire che «*tutti gli auditori rientrano in due gruppi: quelli con l'acustica della caverna e quelli con l'acustica dell'aria aperta*». Dal primo gruppo, dove ha avuto origine la musica, è nata la sala da concerto, dal secondo, che è sede della voce parlata, è nato il teatro. Forsyth ricorda anche che Wallace Clement Sabine, fisico americano tra i maggiori esperti di acustica, ha sostenuto che «*l'acustica dell'ambiente ha una tale influenza sulla composizione e sull'esecuzione musicale che le tradizioni architettoniche delle diverse civiltà, e quindi le caratteristiche acustiche delle rispettive costruzioni, hanno influenzato in modo essenziale il tipo di musica che esse hanno elaborato*». Gli anfiteatri all'aperto, come per esempio l'Arena di Verona, sono adatti a ospitare eventi di *parlato* e di *cantato*, dove ciò che importa è la chiarezza più che la pienezza del suono. Come dice ancora Forsyth, «*questo avviene perché l'aria aperta è fono-assorbente; di conseguenza il suono emesso da un artista — probabilmente rafforzato dal suono subito riflesso da una parete attorno al palcoscenico — non è mascherato dalla riverberazione, come avviene in un luogo racchiuso da superfici dure come una cattedrale una caverna o una stanza, dove invece il suono rimbalza sulle superfici che lo circondano per un periodo considerevole prima di venire gradualmente assorbito*». Il suono irradiato da una sorgente posta in una stanza chiusa subisce infatti, subito dopo l'inizio dell'emissione sonora, le prime riflessioni alle pareti. Se la parete più vicina si trova a una distanza d dalla sorgente, dopo un tempo pari a d/c (dove c è la velocità del suono) dall'inizio dell'emissione sonora avviene la prima riflessione e, poco dopo, tutto il fronte d'onda che raggiunge la parete viene riflesso. Il fronte d'onda del primo segnale raggiunge quindi tutte le altre pareti, dando luogo a successive riflessioni. Tali pareti sono anche raggiunte dal fronte d'onda riflesso dalla prima parete, e il processo si ripete continuamente. In un intervallo di tempo che dipende dalle dimensioni della stanza, l'intero ambiente è quindi interessato da riflessioni multiple che incrementano il livello della densità di energia sonora. Tale incremento avviene in un certo tempo dopo l'inizio dell'emissione sonora, sino a che si raggiunge una condizione di equilibrio, in cui l'energia assorbita dalle pareti nell'unità di tempo eguaglia la potenza sonora emessa dalla sorgente. Un para-

metro importante è il *tempo di riverberazione*, che rappresenta il tempo necessario perché il livello sonoro decada di 60 dB dal livello di equilibrio. I tempi di riverberazione sono essenziali ai fini della buona comprensione della parola e della musica. Nel caso del parlato, per esempio, poiché la durata media dell'emissione di una sillaba, così come l'intervallo tra due sillabe, è di circa 0.2 secondi, un tempo di riverberazione troppo lungo produrrà un accavallamento di sillabe e, di conseguenza, il discorso non sarà comprensibile. All'opposto, se il tempo è troppo breve, cioè il locale molto assorbente, si avranno problemi con l'intensità sonora. La musica richiede in genere tempi di riverberazione più lunghi poiché, a differenza del parlato, in cui è necessario percepire ogni elemento vocale, qui è importante evitare di percepire ogni elemento, quale per esempio la vibrazione delle corde degli archi o il rumore dell'aria che fluisce nei fiati, o un'eventuale mancanza di sincronia tra gli strumenti.

Il problema che ci siamo trovati a dover affrontare per il Teatro Strehler era quindi piuttosto complesso: un edificio con una struttura architettonica molto particolare, come specificheremo in seguito, privo di un vero e proprio spazio per l'orchestra, in cui si volevano ospitare eventi di prosa, concerti, opere «leggere» (tipicamente Mozart, Paisiello).

37

3. – Grandezze acustiche utilizzate

La prima caratteristica che deve avere un ambiente adibito all'ascolto sia di rappresentazioni di prosa sia musicali, è quella di un «volume» sonoro adeguato per ogni posizione corrispondente a ogni ascoltatore. Per rappresentare il livello di intensità sonora (volume) in un punto qualunque di un ambiente, viene introdotta una grandezza fisica adeguata chiamata «*livello di pressione sonora*» o brevemente L_p (nei testi tecnici SPL). Questa grandezza si misura in decibel (dB) ed è legata alla variazione della pressione (misurata in Pascal) dalla seguente formula:

$$(1) \quad L_p = 10 \log \frac{\langle p^2 \rangle}{p^2} \text{ (dB)}$$

dove $\langle p^2 \rangle$ è il quadrato del valore efficace della variazione di pressione, rispetto a quella

atmosfera, che si ha nell'intervallo di tempo in cui si vuole fare la misura:

$$(2) \quad \langle p^2 \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p_i^2 dt,$$

p_0 è una pressione di riferimento corrispondente alla variazione di pressione minima udibile dall'orecchio umano e che vale 2×10^{-5} Pa.

Un'altra fondamentale grandezza che viene utilizzata per definire l'adeguatezza acustica di un ambiente è il «tempo di riverberazione» (T_{60}), corrispondente al tempo che il suono impiega per diminuire di 60 dB dopo che la sua emissione è stata interrotta. Questa grandezza è legata alle caratteristiche dell'ambiente in cui viene misurata dalla seguente equazione (di Sabine):

$$(3) \quad T_{60} = \frac{0,16 \cdot V}{A} \text{ (s)}$$

dove V è il volume dell'ambiente considerato e A , che prende il nome di «unità assorbenti totali», si misura in m^2 ed è dato da

$$(4) \quad A = \sum_i \alpha_i \cdot S_i + \sum_j n_j \cdot K_j \text{ (m}^2\text{)}$$

dove S_i sono le superfici dell'ambiente che si

sta considerando con i relativi coefficienti di assorbimento α_i , K_j è il coefficiente di assorbimento dei vari oggetti presenti (per esempio nel nostro caso le poltrone) e n_j è il loro numero. L'equazione (4), che è stata ricavata da Sabine (1868–1919) empiricamente, è deducibile teoricamente dall'equazione della conservazione dell'energia applicata a un locale di volume V e in cui vi sia una sorgente sonora che emette una potenza W :

$$(5) \quad V \cdot \frac{dE}{dt} = W - \frac{cEA}{4},$$

dove c è la velocità del suono ed E è la densità di energia sonora che è stata supposta uniforme all'interno del volume V e che è legata alla variazione di pressione dalla seguente espressione:

$$(6) \quad E = \frac{p^2}{\rho_0 c^2} \text{ (J/m}^3\text{)}.$$

A seconda delle dimensioni del locale e soprattutto del tipo di spettacolo rappresentato (prosa, concerti, lirica) esistono dei valori di riferimento convenzionali del tempo di riverberazione corrispondenti al valore ottimale per l'orecchio umano a 1000 Hz. Nel grafico di figura 1 sono riportati gli intervalli del va-

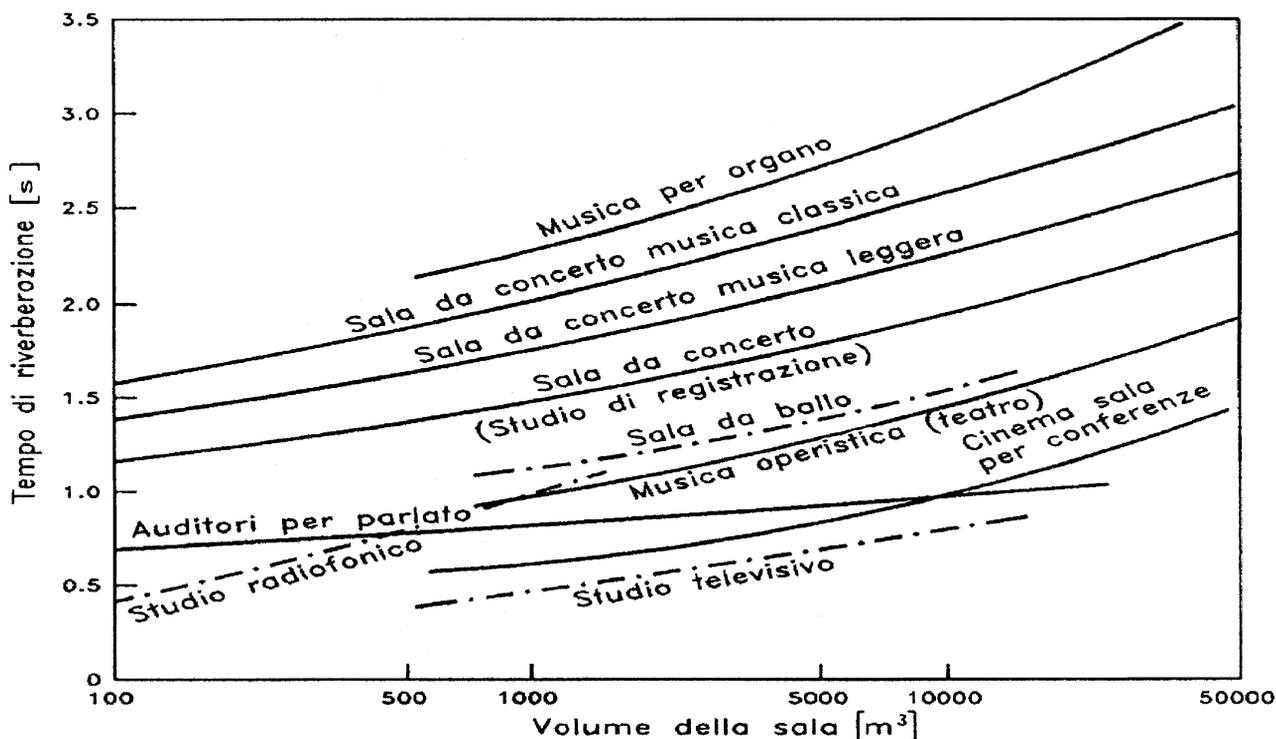


Fig. 1.

lore del tempo di riverberazione ottimale per diversi tipi di spettacolo in funzione del volume.

Come si può notare i tempi di riverberazione ottimali per il parlato sono sempre molto inferiori di quelli ottimali per la musica.

Per un teatro con le caratteristiche geometriche come quelle del Teatro Strehler, il valore del tempo di riverberazione deve essere compreso tra 0,9 e 1,2 secondi per il parlato, e tra 1,4 e 1,8 secondi per la musica. Dovendo ospitare eventi sia di prosa sia musicali, i valori ottimali del tempo di riverberazione per il Teatro Strehler dovranno risultare necessariamente compresi tra quelli ottimali del parlato e quelli ottimali per la musica, dovranno cioè avere valori compresi tra 1,2 e 1,4 secondi; di conseguenza, le eventuali modifiche dovranno avere l'obiettivo di portare i tempi di riverberazione esistenti all'interno di questo intervallo.

4. – Il teatro Strehler di Milano e il modello utilizzato

Il teatro Strehler è fondamentalmente costituito da due zone collegate tra loro: il palco e la sala, quest'ultima comprendente sia la platea sia la galleria. Il palco ha una forma piuttosto semplice: esso infatti è costituito da un parallelepipedo regolare, la cui base è larga 25 metri e profonda 16 metri e l'altezza è di 24 metri. La platea ha la base costituita da un poligono irregolare di otto lati a due a due uguali rispetto l'asse di simmetria che parte dalla fine della platea e arriva al palco. I posti che la platea può contenere sono 550 e sono disposti su 16 file. La galleria ricalca la forma della platea e contiene 404 poltrone disposte su 8 file.

Una particolare considerazione merita il soffitto della sala che, anche se esteticamente molto bello, ha una geometria del tutto svantaggiosa per quanto riguarda la propagazione delle onde sonore all'interno del teatro: esso infatti è concavo, avendo la forma di una piramide di 4 lati inclinati rispetto al piano della sala. Tale forma (vedi fig. 2) è estremamente penalizzante per una buona distribuzione del suono all'interno della sala, soprattutto per quanto riguarda le file più lontane. Nella figura 2 (a e b) è rappresentata la sezione longitudinale di un teatro, nel primo ca-

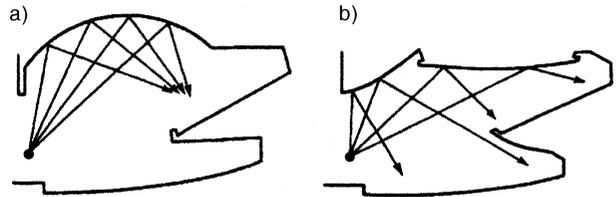


Fig. 2.

so (a) il soffitto ha la forma che rispecchia quella del «Teatro Strehler» e come si può notare il suono risulta mal distribuito, diversamente succede nel secondo caso (b) in cui si ha un soffitto a elementi convessi.

Per una corretta valutazione acustica di un ambiente, soprattutto quando vengono utilizzati programmi di simulazione, è importante conoscere i materiali di cui sono costituite o ricoperte le principali superfici che lo costituiscono. Nel teatro in oggetto i pavimenti della platea e della galleria sono interamente coperti da una pesante moquette. Il coefficiente di assorbimento della moquette, per una frequenza di 1000 Hz, ha un valore di 0,3.

Le poltrone sono imbottite e il loro coefficiente di assorbimento è piuttosto elevato (nei calcoli si è considerato un valore di 0,28), molto simile a quello tipico di una persona, tanto da rendere le misurazioni con la sala in presenza di pubblico praticamente superflue. Le pareti della platea sono costituite da tavole di legno larghe 24 cm e distanziate tra loro da 3 cm di tappezzeria (vedi fig. 11 in seguito). In galleria, oltre alla presenza di zone sempre ricoperte da tavole di legno, esistono anche delle zone ricoperte di tessuto.

Per quanto riguarda il palco, è importante considerare che è di dimensioni paragonabili a quelle della sala e che è costituito soprattutto da materiali riflettenti, quali cemento, legno e materiale plastico.

Nel ricavare le formule che esprimono l'andamento del livello di pressione sonora (L_p) all'interno della sala del teatro e quindi del tempo di riverberazione caratteristico, data la grande dimensione del palco, non è più possibile utilizzare l'eq. (4), che si riferiva ad un unico locale di volume V , poiché si ha ora a che fare con la sala (platea + galleria) e il palco uniti dal boccascena e con caratteristiche acustiche molto diverse tra loro. Sarà quindi necessario derivare la (4) per questo caso particolare. La situazione è schematicamente rappresentata nella figura 3 in cui i lo-

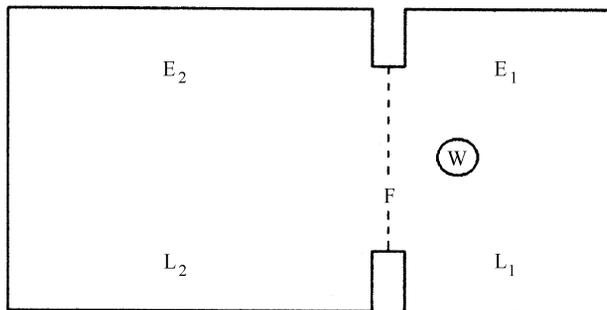


Fig. 3.

cali L_1 e L_2 (palco e sala) sono uniti da una apertura di superficie F (boccascena).

Facendo l'ipotesi che in entrambi i locali il campo sonoro sia diffuso, che la sorgente sonora di potenza W sia posta nel locale L_1 (palco) e che si abbia istante per istante una densità di energia E_1 nel primo locale e una densità di energia E_2 nel secondo locale, si ricavano rispettivamente le seguenti equazioni.

Per il locale L_1 (di superficie S_1 e coefficiente di assorbimento medio α_1):

$$V_1 \frac{dE_1}{dt} = W - \frac{cE_1}{4}(S_1 \alpha_1 + F) + \frac{cE_2 F}{4}.$$

Per il locale L_2 (di superficie S_2 e coefficiente di assorbimento medio α_2):

$$V_2 \frac{dE_2}{dt} = - \frac{cE_2}{4}(S_2 \alpha_2 + F) + \frac{cE_1 F}{4}.$$

Risolvendo il sistema delle due equazioni precedenti per la densità di energia nei due locali E_1 e E_2 si ottengono le seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} E_1(t) &= A e^{-\beta t} + B e^{-\gamma t}, \\ E_2(t) &= C e^{-\beta t} + D e^{-\gamma t}, \end{aligned}$$

dove in β e in γ sono presenti le caratteristiche principali dei due locali, volume, superficie e coefficiente di assorbimento e i valori della densità di energia (E_{10} , E_{20}) presenti prima dello spegnimento della sorgente.

Una volta noto l'andamento della densità di energia acustica in funzione del tempo nella sala ($E_2(t)$), utilizzando la (6) e la (1) si può calcolare come vari il livello di pressione sonora ΔL_{p2} nella sala:

$$\Delta L_{p2} = 10 \log \frac{E_{20}}{E_2(t)},$$

e da qui il tempo di riverberazione caratteristico.

5. - Strumenti utilizzati

Il principale strumento utilizzato è un fonometro integratore di precisione Brüel & Kjær mod. 2260 classe 1. Questo strumento oltre che funzionare come un normale fonometro, cioè dare il valore del livello di pressione sonora, istante per istante, è in grado di svolgere svariate funzioni che sono state ampiamente sfruttate per le nostre misure.

La prima è quella di essere in grado di calcolare automaticamente il livello equivalente, media temporale del livello di pressione sonora, di un determinato suono per un intervallo di tempo predeterminato. Questa grandezza, la cui unità di misura è il dB è stata impiegata per valutare l'intensità sonora in ciascun punto di acquisizione utilizzando un intervallo di tempo di 6 secondi.

Altre due caratteristiche dello strumento sono quella di fare direttamente un'analisi in bande da 1/3 di ottava¹ (da 50 a 10000 Hz) e quella di fornire direttamente il tempo di riverbero.

Una volta che le grandezze siano state acquisite, esse possono essere memorizzate nello strumento per poi essere scaricate su computer e quindi con *software* dedicati essere elaborate.

Un'altra importante caratteristica dello strumento è quella di generare rumori costanti in funzione della frequenza: in particolare, rumore bianco, cioè con intensità costante per tutte le frequenze, e rumore rosa (intensità costante per bande di 1/3 di ottava). Nelle nostre misure verrà impiegato questo secondo tipo di rumore. Il segnale rosa generato dal fonometro viene inviato a un amplificatore di potenza il quale è collegato a una speciale cassa acustica di forma dodecae-

¹ Per banda si definisce un qualsiasi intervallo di frequenze. La banda di ottava è quella che parte da una determinata frequenza e termina con il suo doppio; nel caso di una banda da un terzo di ottava si ha invece che il rapporto tra la frequenza iniziale e quella finale è uguale a $2^{1/3}$. La suddivisione in terzi di ottava viene introdotta perché è quella che tiene meglio conto della sensibilità dell'orecchio umano. L'intervallo di frequenze compreso tra tre bande di un terzo di ottava adiacenti, risulta uguale a quello di un ottava.

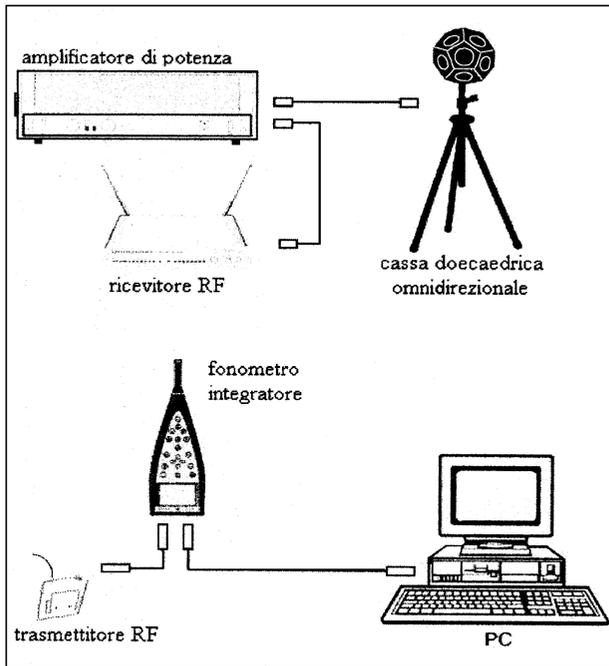


Fig. 4.

drica, su ogni faccia della quale è inserito un altoparlante. Questa cassa, grazie alla caratteristica di emettere con la stessa intensità in tutte le direzioni, viene da noi impiegata per simulare una sorgente puntiforme di onde sferiche. Oltre ad avere questa caratteristica, la cassa emette su tutte le frequenze con intensità relativamente costante.

Le postazioni di misura all'interno del teatro in alcuni casi sono piuttosto numerose e le distanze tra il fonometro e la sorgente (la cassa doecaedrica) possono essere anche superiori a 30 metri. Per evitare l'uso di lunghi cavi di collegamento, che renderebbero difficoltosa l'attuazione delle misure, il collegamento tra il fonometro e l'amplificatore viene realizzato attraverso trasmissioni a radiofrequenza: il fonometro viene collegato a un trasmettitore a radiofrequenza a 16 canali Sennheiser mod. BF 1083U mentre all'amplificatore è collegato il ricevitore, Sennheiser EM 1031U.

Nella figura 4 è riportato lo schema d'insieme dell'apparato principale di misura.

6. - Risultati prima delle modifiche

Il primo aspetto verificato all'interno della sala del teatro, è stata la distribuzione del livello di pressione sonora totale (L_p mediato

per sei secondi). Per questo è stato acquisito il suono emesso dalla sorgente doecaedrica in 37 diverse posizioni del teatro (23 in platea e 14 in balconata) e per ciascuna posizione è stato sommato il contributo di tutte le bande di frequenza (da 50 a 10000 Hz). Le misure sono state fatte in presenza di diverse scenografie e in tutti i casi la sorgente è stata posizionata sia al centro sia all'inizio del palco. Nel caso della sola inquadratura e con la sorgente posizionata all'inizio del palco, la distribuzione del livello di pressione sonora nella platea risulta come nella figura 5.

Come si può notare la diminuzione del livello di pressione sonora, considerando le ultime file, è di circa 37 dB. La condizione ottimale per avere un buon ascolto di qualunque tipo di rappresentazione teatrale è che il livello di pressione sonora che raggiunge le posizioni più sfavorite sia superiore di almeno 5 dB rispetto al rumore di fondo caratteristico. Nel teatro, in condizioni normali di funzionamento, il rumore di fondo è di circa 30 dB. Nel caso quindi in cui ci siano rappresentazioni con emissione sonora di 70 dB o inferiori (casi molto frequenti soprattutto per la prosa) il rumore di fondo non verrebbe sufficientemente superato.

Analizzando più nel dettaglio l'andamento del livello di pressione sonora in funzione della distanza dalla sorgente si possono avere le prime indicazioni sull'assorbimento del teatro.

Il livello di pressione sonora totale in un punto qualunque del teatro è dovuto sia al contributo del suono che arriva direttamente dalla sorgente sia a quello prodotto dalle riflessioni di tutto l'ambiente. La formula che descrive questo andamento è la seguente:

$$L_p = L_w + 10 \log \left(\frac{1}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) \text{ (dB)},$$

dove L_w è il livello di pressione sonora iniziale della sorgente, r è la distanza del punto di cui si vuole valutare il livello e R è una costante (costante di ambiente) che tiene conto dell'assorbimento dell'ambiente attraverso il coefficiente di assorbimento medio a_m (più è alto a_m maggiore è R).

In figura 6 è riportato l'andamento del livello di pressione sonora in funzione della distanza dalla sorgente per diversi valori di R .

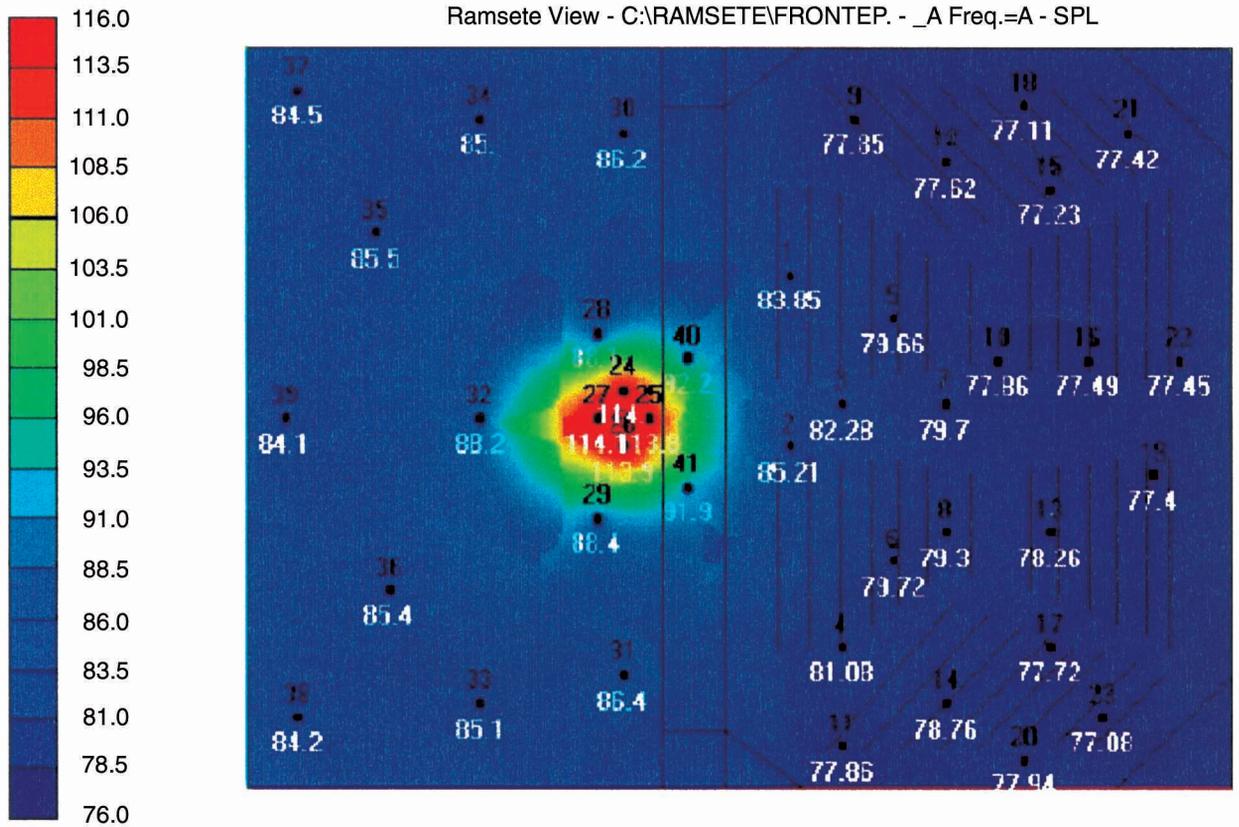


Fig. 5.

42

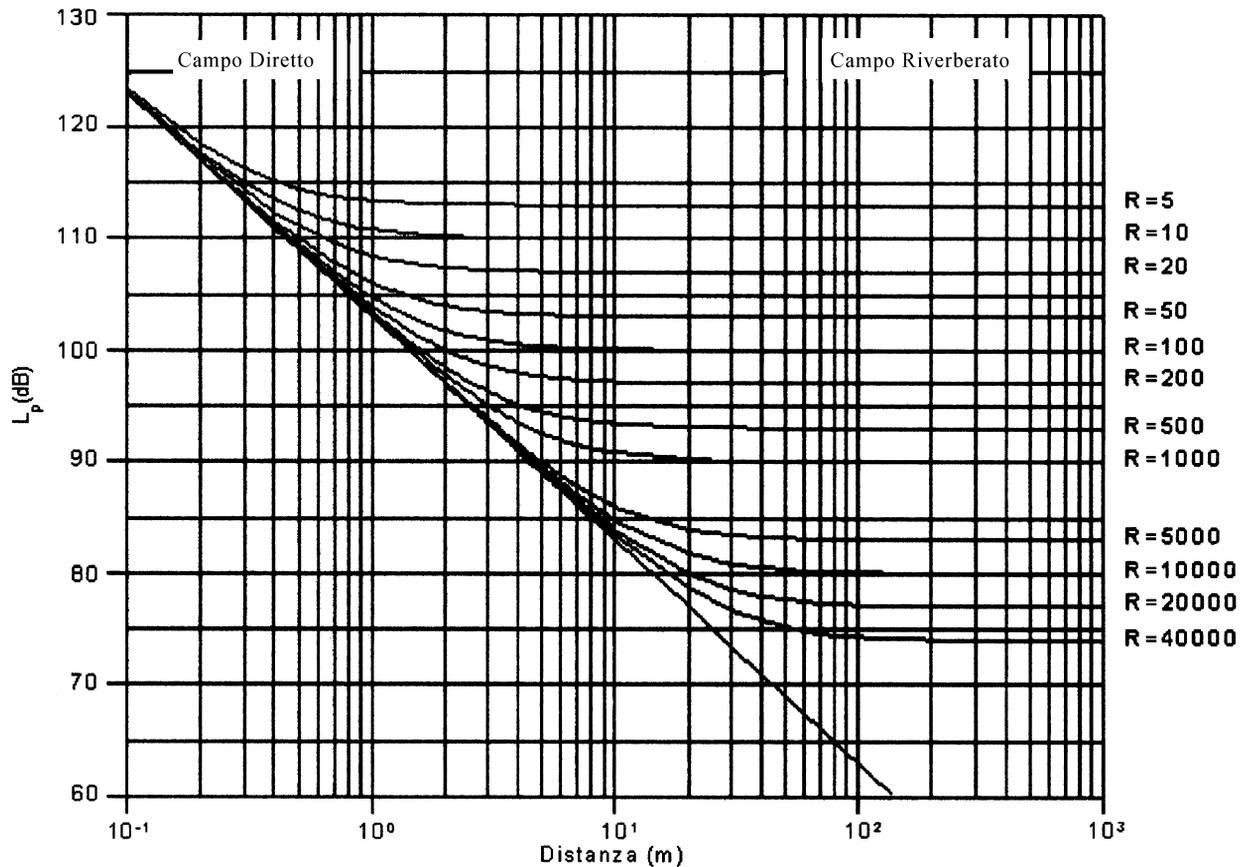


Fig. 6.

Il tratto rettilineo rappresenta la diminuzione del livello di pressione sonora in funzione della distanza in campo libero, dove cioè non vi sono riflessioni da parte delle superfici ($R = \bullet\bullet$) e la diminuzione è dovuta solo all'aumentare della distanza dalla sorgente. La serie di curve rappresenta l'andamento che si ha al diminuire dell'assorbimento (e quindi di R): dall'andamento rettilineo si passa alle singole curve per valori tanto più piccoli della distanza quanto minore è l'assorbimento. Per ogni curva oltre una certa distanza l'andamento diviene costante. Osservando ancora la figura 5, risulta che il valore del livello di pressione sonora, passando, per esempio, dalla posizione 2 alla posizione 16, corrispondenti alle distanze rispettivamente di 5 e 16,5 metri, diminuisce di 7,72 dB; applicando la formula sopra riportata, risulta che una diminuzione di questa entità si ha per un valore di R uguale a 13000, cui corrisponde un assorbimento medio dell'ambiente (a_m) di 0,83.

La formula di distribuzione del livello di pressione sonora, per come è stata ricavata, risulta applicabile solo per ambienti che non abbiano geometrie particolari e dove il suono riflesso risulti distribuito nell'ambiente uni-

formemente. Questi requisiti, nel caso che stiamo studiando, non vengono totalmente rispettati: il valore del coefficiente di assorbimento trovato è però indicativo del fatto che il teatro è tendenzialmente assorbente.

A questo punto è utile andare ad analizzare quali frequenze vengano maggiormente assorbite: ciò viene ricavato confrontando lo spettro di emissione della sorgente, cioè il livello di pressione sonora in funzione della frequenza, con lo spettro del suono che raggiunge varie posizioni della sala. Per ottenere un valore globale è stata calcolata la media tra i singoli valori che raggiungono le postazioni di acquisizione fissate nella sala. Nella figura 7, la linea blu rappresenta lo spettro di emissione della sorgente e le linee fucsia, marrone e azzurra si riferiscono rispettivamente alla distribuzione del livello di pressione sonora nella sala con la sorgente posizionata nel centro del palco (posizione A), con la sorgente posizionata all'inizio del palco (posizione B) e con la sorgente posizionata nella buca dell'orchestra (posizione C).

Come si può notare, le frequenze che vengono maggiormente assorbite sono quelle superiori a 1600 Hz. Per mettere maggiormente in risalto questo fatto è stata valutata, nor-

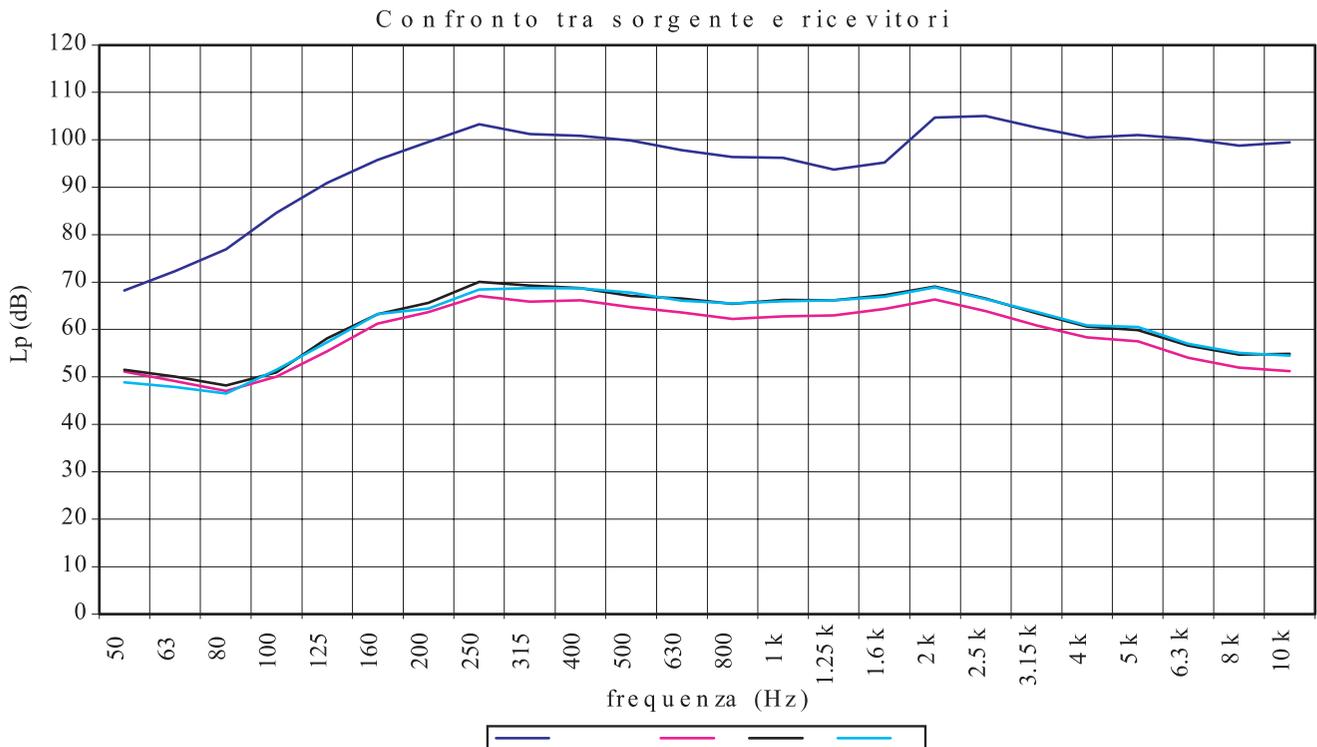


Fig. 7.

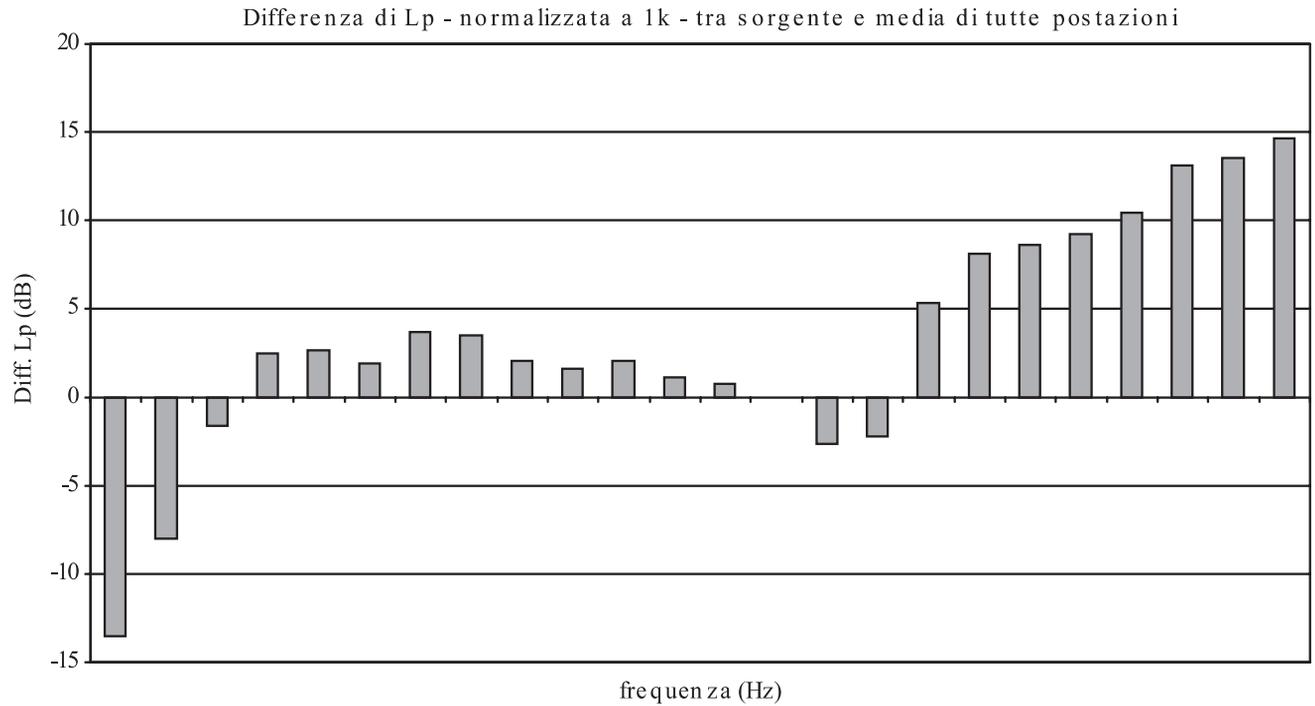


Fig. 8.

malizzando a 1000 Hz, la differenza tra il livello di pressione sonora ricevuta (mediata tra le tre diverse posizioni della sorgente) e quella emessa. Il risultato ottenuto è riportato nella figura 8 e si può notare ancora meglio come le frequenze a cui il suono viene

maggiormente assorbito siano quelle superiori a 1600 Hz.

La conferma dell'alto assorbimento del teatro può venire dalle misure del tempo di riverberazione. In figura 9 sono riportati, in funzione della frequenza, i valori del tempo di

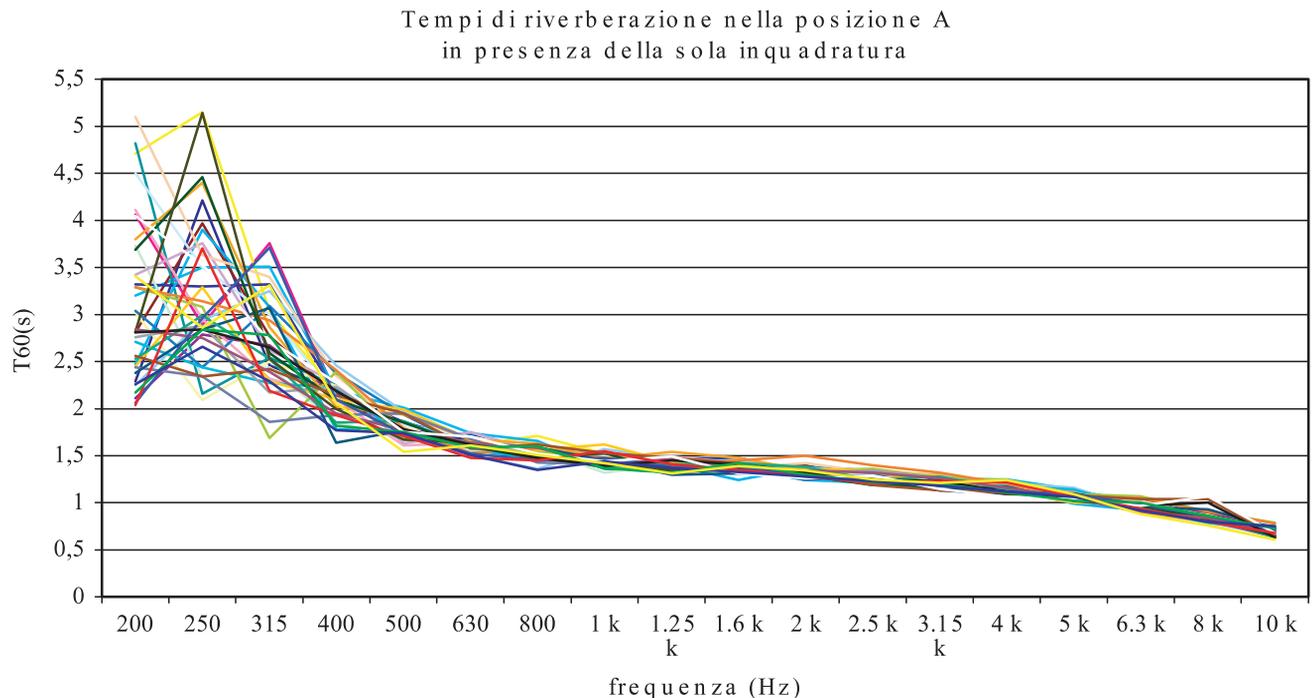


Fig. 9.

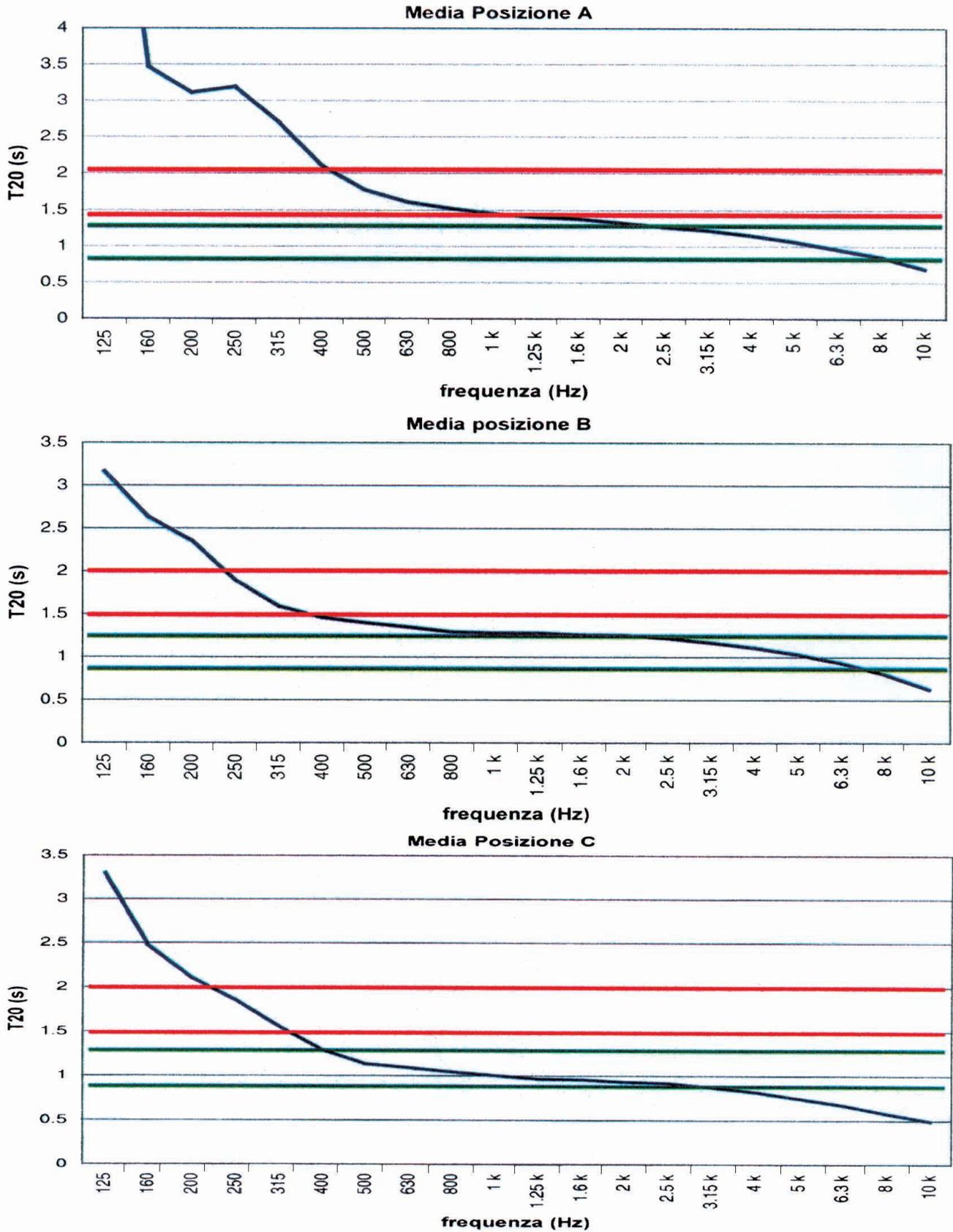


Fig. 10.

riverberazione ottenuti in tutte le postazioni di misura (quello rappresentato è il caso in cui la sorgente è nel centro del palco e in presenza della sola inquadratura).

Come si può notare, a eccezione delle frequenze inferiori a 400 Hz, in corrispondenza delle quali avvengono fenomeni di interferenza dipendenti dalla posizione di misura, i valori del tempo di riverberazione non si discostano molto tra di loro e ha quindi senso calcolarne il valore medio per poi confrontarlo con i valori ottimali previsti per il teatro. Nei grafici di figura 10, per le posizioni A, B, C della sorgente, oltre che il valore medio del tempo di riverberazione, sono riportati gli intervalli ottimali per il parlato (linee verdi) e per la musica (linee rosse). Da questi grafici emerge che, per quanto riguarda la musica, già con la sorgente nel centro del palco, abbiamo che per frequenze superiori a 1000 Hz i tempi di riverberazione sono inferiori al minimo consigliato e le cose inoltre peggiorano vistosamente nelle misure con la sorgente più vicina alla sala (posizione B e C).

7. – Possibili cause delle carenze acustiche della sala

Gli inconvenienti maggiori, dal punto di vista dell'acustica, sono risultati il basso livello di pressione sonora che raggiunge le file più esterne del teatro e i bassi tempi di riverberazione. Entrambi questi inconvenienti sono legati alle scarse riflessioni all'interno della sala. Analizzando la struttura del teatro e i materiali di cui è costituita la sala, è stato possibile dedurre che le cause di ciò sono soprattutto tre:

- 1) soffitto fonoassorbente perché realizzato mediante doghe e con materiale fonoassorbente;
- 2) rivestimento in stoffa di grandi superfici delle pareti laterali;
- 3) rivestimento in moquette di tutta la pavimentazione.

A questi tre punti, inoltre, si deve aggiungere il fatto che il soffitto del teatro è di forma concava, il che, come abbiamo visto, introduce una cattiva distribuzione del suono. Es-

46

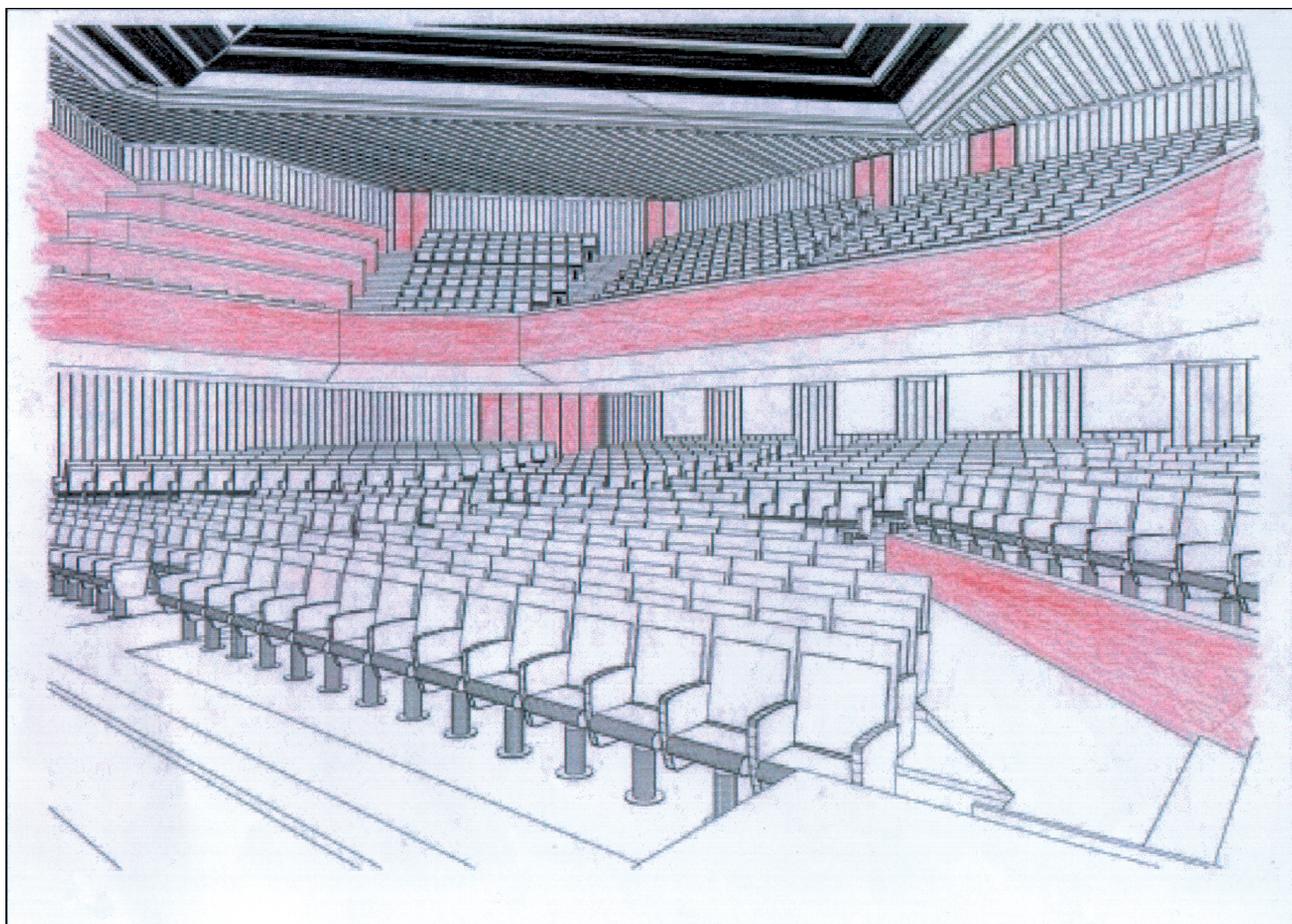


Fig. 11.

sendo irrealistico proporre una modifica del soffitto, si è pensato di intervenire sui punti 2) e 3), consapevoli che questo avrebbe portato a un notevole miglioramento della situazione, anche se i valori ottimali per gli eventi musicali non sarebbero stati comunque raggiunti. Si è agito in due fasi. La prima, messa in atto nel novembre 1998, è consistita nel cambiare il materiale con cui erano ricoperte alcune delle superfici della sala con pannelli di legno: sia in platea sia in galleria (vedi figura 11) erano infatti presenti diverse superfici ricoperte di tessuto che, presumibilmente, contribuivano all'alto assorbimento del teatro e in particolare, essendo il tessuto un materiale di tipo «poroso», proprio per le frequenze medio alte, cioè quelle maggiori di 1600 Hz. L'efficacia di questo primo intervento è stata verificata con diverse serie di misurazioni effettuate sia con palco vuoto sia in presenza di varie scenografie. In seguito ai primi positivi risultati si è deciso di proseguire per la strada della sostituzione di materiali assor-

benti: nella seconda fase degli interventi, effettuata durante la pausa estiva, fine luglio – agosto 1999, è stata sostituita la moquette che ricopriva la pavimentazione della platea con parquet di legno massello.

8. – Risultati ottenuti dopo le modifiche

Nella figura 12 è rappresentata la distribuzione del livello di pressione sonora misurato nella platea del teatro dopo la sostituzione del tessuto presente sulle pareti della sala con pannelli di legno.

La sorgente sonora è posizionata all'inizio del palco, in assenza di scenografia.

Come si può notare, i valori del livello di pressione sonora rispetto a quelli riportati nella figura 5 (distribuzione dell'intensità prima delle modifiche) risultano ovunque maggiori e in particolare, se andiamo a considerare le posizioni 2 e 16, notiamo che la differenza tra i valori corrispondenti risulta

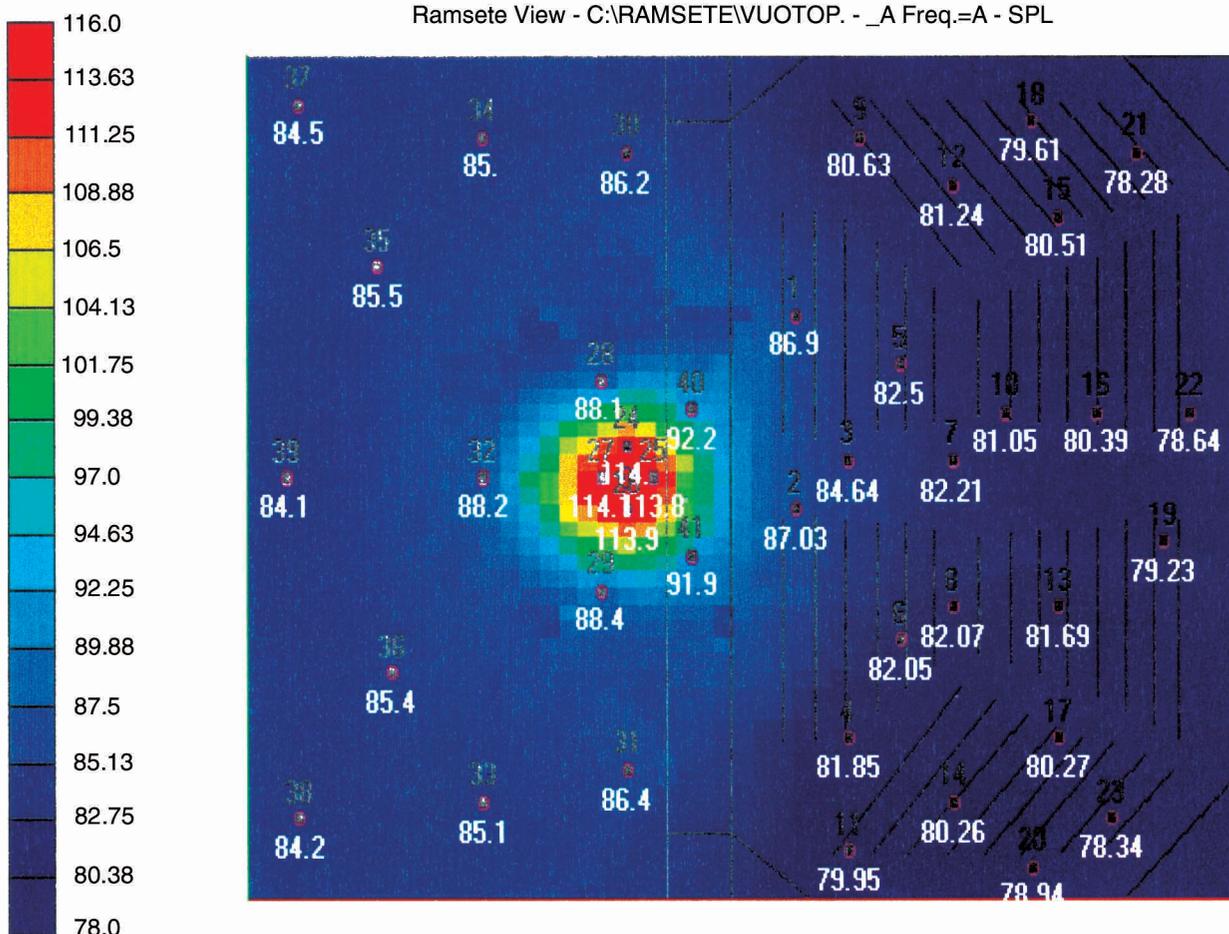


Fig. 12.

adesso di 6,64 dB cui corrisponde un valore del coefficiente di assorbimento della sala pari a 0,74. Questo valore indica che l'assorbimento della sala è rimasto ancora elevato ma è notevolmente migliorato rispetto al valore di 0,83 che si era ottenuto prima delle modifiche. Dopo la sostituzione della moquette della platea otteniamo un valore del coefficiente di assorbimento medio del teatro di 0,65.

La diminuzione del coefficiente di assorbimento medio indica che, nel teatro, dopo le modifiche, si ha una distribuzione più uniforme del suono e quindi una percezione migliore del «volume» sonoro anche nelle posizioni più lontane dalla sorgente.

Per quanto riguarda i tempi di riverberazione, si sono voluti confrontare tra loro rispettivamente i valori ottenuti prima e dopo le modifiche, per diverse scenografie. Per ovvi problemi di compatibilità con il normale svolgersi delle attività teatrali, non è stato possibile eseguire le misure sperimentali sia prima sia dopo entrambe le modifiche. In presenza della scenografia del «Don Giovanni» di Mozart si sono ottenuti i valori riportati in figura 13.

La linea gialla, rappresenta l'andamento del tempo di riverberazione in funzione della frequenza prima dell'effettuazione di ogni modifica della sala (valori ottenuti con simulazione al computer).

La linea fucsia, che corrisponde a valori sperimentali, rappresenta l'andamento del tempo di riverberazione in funzione della frequenza dopo la sostituzione dei circa 300 m² di tessuto presente nella sala e come si può notare si ottiene un miglioramento di quasi mezzo decimo di secondo per tutte le frequenze. Un miglioramento ancora superiore, soprattutto per le alte frequenze, si ottiene con la seconda modifica (linea blu) e cioè dopo la sostituzione della moquette della platea (valori ottenuti con simulazione al computer): si può notare che i valori del tempo di riverberazione corrispondenti si trovano, per molte frequenze, tra quelli ottimali del parlato e quelli ottimali per la musica.

Per avere il confronto tra valori ottenuti solo sperimentalmente (prima e dopo le modifiche), indipendentemente dalla scenografia presente, sono stati misurati i tempi di riverberazione nella sala con lo schermo tagliafuoco abbassato. I valori ottenuti, per ciascuna frequenza, sono riportati

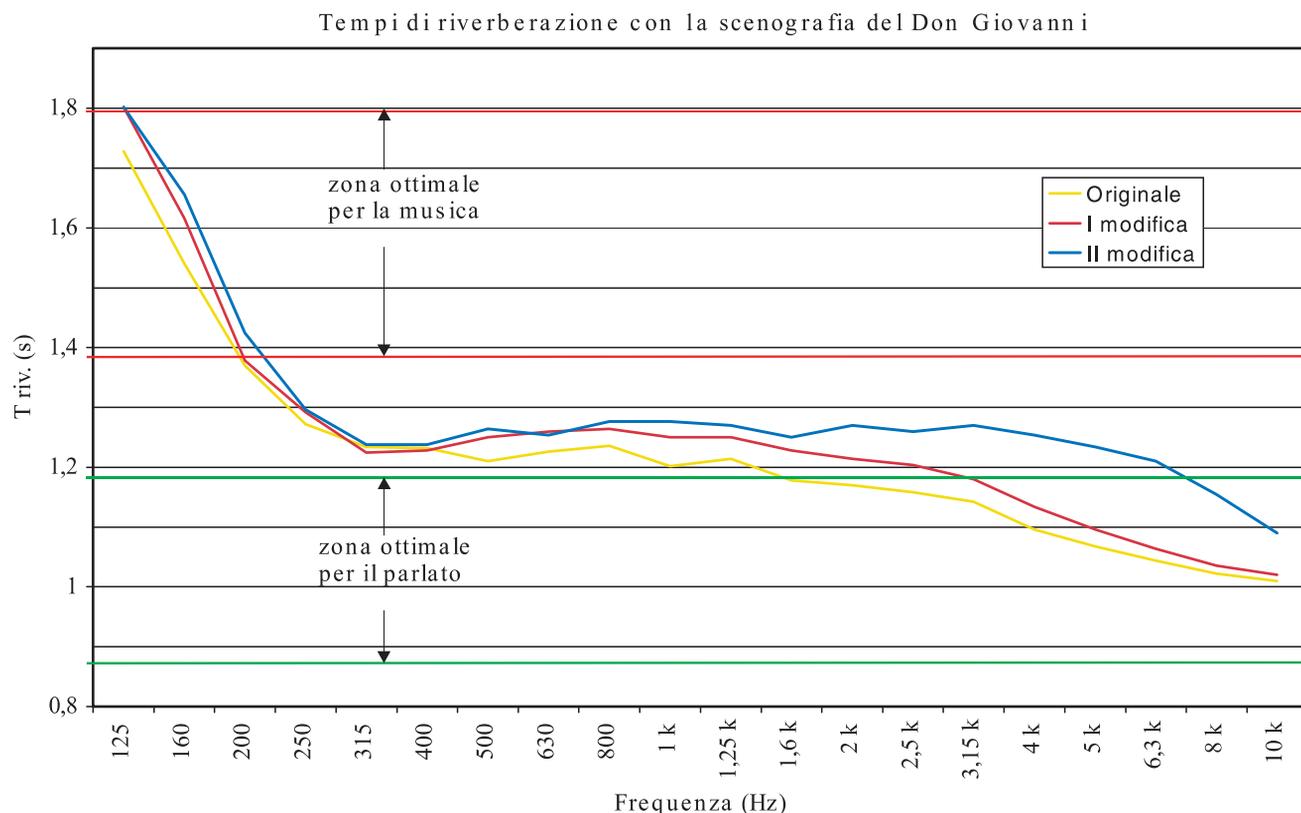


Fig. 13.

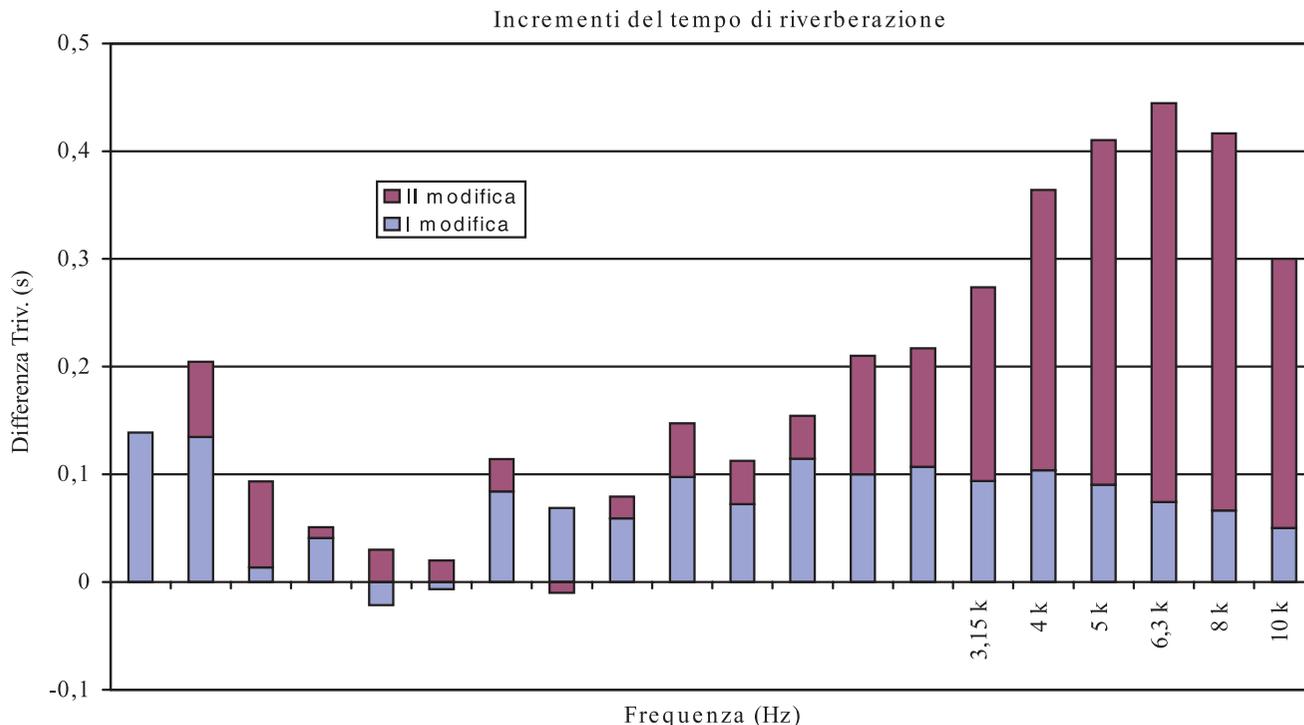


Fig. 14.

nella figura 14. Anche da questo grafico viene confermato un miglioramento dei tempi di riverberazione per tutte le frequenze e in modo più accentuato per le frequenze superiori a 2 kHz, in coerenza con il tipo di materiali sostituiti.

9. – Conclusioni

Lo scopo principale di questo lavoro era quello di fare in modo che le due grandezze fondamentali (L_p e tempo di riverberazione) che definiscono la qualità acustica di un teatro assumessero dei valori che fossero il più possibile compatibili con un ambiente dedicato alla prosa ma che occasionalmente avrebbe anche ospitato eventi musicali. Dopo aver notato che gli inconvenienti presenti nel teatro (basso livello di pressione sonora nelle posizioni più lontane dal palco e bassi tempi di riverberazione soprattutto per le frequenze medio-alte) erano legati all'alto assorbimento della sala, è stata proposta la sostituzione del materiale assorbente presente (tessuto e moquette) con materiale riflettente (pannelli e parquet). Dopo questi interventi si è riscontrata una distribuzione del suono più uniforme all'interno della sala, cioè una minore differenza di livello di pressione sonora tra le diverse posizioni e un incre-

mento generalizzato dei tempi di riverberazione, particolarmente per le frequenze superiori a 2 kHz. L'incremento ottenuto per le frequenze medio-alte è molto rilevante soprattutto per quanto riguarda le rappresentazioni musicali, la cui estensione in frequenza può anche superare 10 kHz. Un altro aspetto importante emerso durante questo lavoro è stato l'aver messo in luce l'influenza del palco: in base al tipo di rappresentazioni è importante tenere anche conto dei materiali e degli ingombri delle varie scenografie. Riteniamo infine particolarmente significativo il tipo di lavoro eseguito, in quanto sta emergendo sempre più frequentemente la richiesta di poter disporre di sale multiuso, in cui siano cioè possibili sia rappresentazioni di prosa sia eventi musicali. Interventi del tipo di quello presentato in questo lavoro sono atti a soddisfare tale esigenza.

* * *

Gli autori desiderano ringraziare l'architetto Aldo di Silvestro, della Divisione Edilizia dell'Università degli Studi di Milano, che ha collaborato con entusiasmo e grande competenza al nostro lavoro. Un vivissimo ringraziamento anche al Dottor Sergio Escobar, direttore del Teatro Strehler, al segretario generale Gianmario Maggi e a tutto il personale del teatro per la grande disponibilità che ci hanno sempre accordato.

**LA FASE ROSSA DELL'OSSIGENO
SOLIDO AD ALTA PRESSIONE:
UN CRISTALLO DI MOLECOLE O₄**

F.A. Gorelli¹(*), **L. Ulivi²(**)**, **M. Santoro³(***)**, **R. Bini³(***)**

LENS, European Laboratory for Non-linear Spectroscopy and INFM, Largo E. Fermi 2, I-50125 Firenze, Italy

¹ *Dipartimento di Fisica dell'Università di Firenze, Largo E. Fermi 2, I-50125 Firenze, Italy*

² *Istituto di Elettronica Quantistica, CNR, Via Panciatichi 56/30, I-50127 Firenze, Italy*

³ *Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze, Via G. Capponi 9, I-50121 Firenze, Italy*

1. In un articolo panoramico sulla ricerca nel campo delle alte pressioni (*Phys. Today*, agosto 1998, pag. 26) Russel Hemley e Neil Ashcroft osservano come la pressione sia la grandezza fisica che ha, in natura, il più ampio intervallo di variabilità, esteso su circa 60 ordini di grandezza. Agli estremi si collocano, rispettivamente, l'alto vuoto delle regioni interstellari e i nuclei delle stelle di neutroni. Le tecniche per la generazione di alte pressioni sono state introdotte pionieristicamente fin dagli anni sessanta, soprattutto ad opera del premio Nobel Percy Bridgman. Tali procedure sono state notevolmente sviluppate in questi ultimi trenta anni, mostrando quali straordinarie modificazioni delle proprietà termodinamiche e microscopiche della materia condensata possano essere indotte da grandi variazioni della densità. Le conseguenze dell'alta pressione applicata, in un intervallo di valori che ricopre fino a tre ordini di grandezza (0.1–100 GPa), sono molto più importanti di quelle relative al solo effetto della temperatura.

La cella ad incudini di diamante (chiamata in inglese *Diamond Anvil Cell*, e che anche noi chiameremo brevemente DAC) è lo strumento fondamentale per ottenere alte pressioni statiche su campioni solidi, liquidi o gassosi. Si tratta di un dispositivo concettualmente semplice, ma tecnologicamente alquan-

to sofisticato. In pratica per ottenere alte pressioni, dato che la forza applicata su di un materiale non può oltrepassare un certo limite, si riducono ad un livello quasi microscopico le dimensioni del campione, riducendo conseguentemente la forza applicata, a parità di pressione raggiunta. Il materiale viene compresso tra due incudini a forma di tronco di piramide, che devono essere di un materiale molto duro e resistente. Le incudini sono ottenute tagliando in modo particolare due diamanti naturali, e questo è l'altro motivo che limita le dimensioni del campione. La tenuta laterale è garantita da una piccola guarnizione metallica, al centro della quale è praticato il foro di alloggiamento del campione di dimensioni che vanno circa da 50 a 300 μm per il diametro e da circa 10 a 50 μm per lo spessore. La maggior parte delle osservazioni fisiche sui materiali contenuti nella DAC, siano queste misure strutturali ottenute con la diffrazione dei raggi X, misure di assorbimento di radiazione visibile o infrarossa, misure di

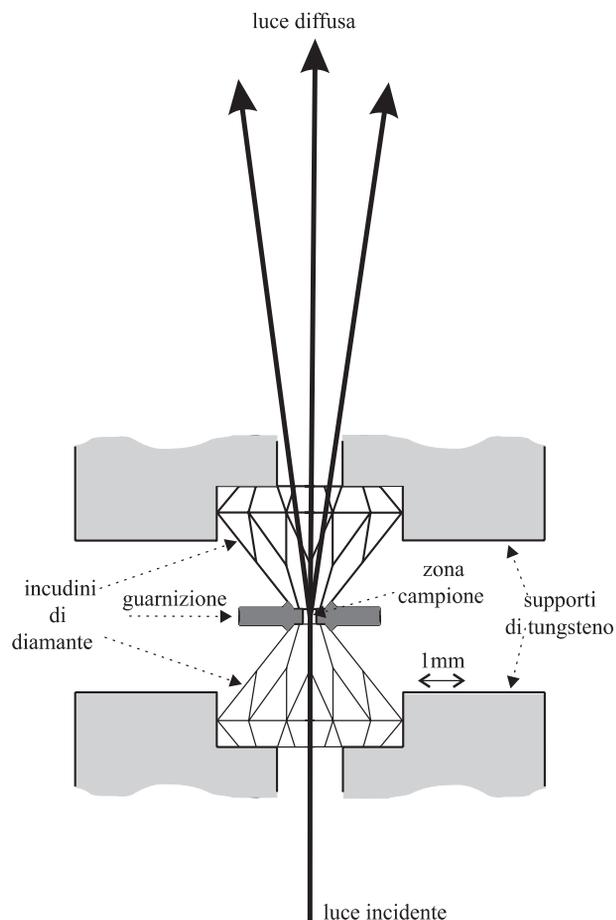


Fig. 1. – Schema di principio per la sezione longitudinale della cella ad incudini di diamante.

(*) e-mail: gorelli@lens.unifi.it

(**) e-mail: ulivi@ieq.fi.it

(***) e-mail: santoro@lens.unifi.it

(***) e-mail: bini@chim.unifi.it

diffusione Raman, vengono fatte attraverso i diamanti, che possiedono elevata trasparenza alla radiazione elettromagnetica in quasi tutto l'infrarosso, tutto il visibile e parte dell'ultravioletto, e ai raggi X. Se entriamo nei dettagli costruttivi di una DAC, della quale riportiamo uno schema di principio in fig. 1, ci accorgiamo quanto sia raffinata la tecnologia necessaria ad un buon funzionamento della stessa. Le facce minori dei diamanti sono piccole, devono preventivamente essere posizionate una sull'altra con precisione dell'ordine del μm e allineate parallelamente con metodi ottici. La meccanica del movimento della cella deve essere tale da mantenere questo allineamento via via che la pressione aumenta.

Esistono vari tipi di DAC, sviluppate in istituti di ricerca di tutto il mondo, alcune delle quali sono commercializzate. Le celle che noi utilizziamo (fig. 2) sono state progettate all'interno del nostro gruppo, secondo un'idea di R. Le Toullec *et al.* ⁽¹⁾, e realizzate da una ditta fiorentina. Si caratterizzano per l'elevata apertura del foro conico di accesso alla radiazione, praticato nelle semisfere di carburo di tungsteno su cui poggiano i diamanti, che consente un'ottima efficienza di raccolta della luce. Esse inoltre si caratterizzano per il meccanismo di generazione della forza. Diversamente da molte realizzazioni, infatti, qui si sfrutta un sistema pneumatico, costituito da una membrana di acciaio, che viene riempita di gas per mezzo di un capillare. In questo modo la forza applicata può es-

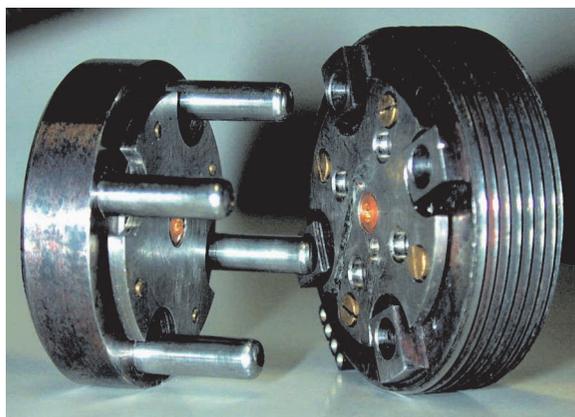


Fig. 2. - Foto di una caratteristica cella ad incudini di diamante, progettata all'interno del nostro gruppo e realizzata da una ditta fiorentina. Le quattro spine in acciaio garantiscono il corretto scorrimento relativo delle due metà, in maniera tale da mantenere l'allineamento dei diamanti via via che la pressione aumenta.

sere regolata finemente, con precisione, e a distanza, senza alterare l'allineamento della cella nel sistema ottico.

Per riempire la cella ad alta pressione con campioni che sono gassosi in condizioni normali, come nel nostro caso, è necessario ricorrere a particolari tecniche di condensazione. È indispensabile infatti che la densità iniziale del campione sia sufficientemente elevata, nel momento in cui i diamanti sigillano il volume delimitato dall'apposita guarnizione metallica. Per gas che si possono liquefare a temperatura superiore o uguale a quella dell'azoto liquido (come l'ossigeno) si usa il cosiddetto metodo criogenico: si immerge la cella nel gas campione, liquefatto in un contenitore di acciaio, precedentemente evacuato. Per gas che non possono essere facilmente liquefatti (idrogeno, elio), e per miscele di gas, si usa un sistema in cui la cella è immersa nel gas campione portato ad una pressione di circa 2000 bar.

La misura *in situ* della pressione a cui è soggetto il campione è ottenuta indirettamente, con un metodo spettroscopico. Osserviamo, incidentalmente, come la conoscenza della pressione nella membrana di regolazione (poche decine di bar) consenta di stabilire soltanto il corretto ordine di grandezza della pressione fra i diamanti. Per una misura precisa si utilizza la fluorescenza di una piccola sfera di rubino (10–20 μm di diametro), immersa nel campione ed eccitata per mezzo della radiazione verde o blu di un laser ad argon. Questo spettro esibisce infatti due picchi molto intensi le cui posizioni a pressione ambiente sono 692.7 nm (R_2) e 694.28 nm (R_1). Le due righe si spostano in maniera nota verso lunghezze d'onda maggiori, all'aumentare della pressione. La calibrazione più recente di tale banda, per pressioni fino a 100 GPa, è quella proposta da H. K. Mao e P. M. Bell (*Science* 200, 1145, 1978):

$$(1) \quad P(\text{GPa}) = \frac{1904}{B} \left[\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} + 1 \right)_B - 1 \right]$$

dove $\lambda_0 = 694.28 \text{ nm}$ è la lunghezza d'onda della riga R_1 a pressione ambiente, e $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$ rappresenta lo spostamento dello stesso picco. Nel nostro caso utilizziamo la scala cosiddetta *quasi idrostatica* in cui $B = 7.665$. L'errore di calibrazione è stimato in poche parti per cento nell'intervallo 0–50 GPa.

2. In questo articolo trattiamo dei recenti risultati spettroscopici ottenuti sull'ossigeno solido, i quali hanno dimostrato che, a pressioni superiori a 10 GPa, le molecole di O_2 si associano a coppie, per formare delle unità di quattro atomi (^{2,3}).

L'ossigeno solido fa parte della categoria dei cristalli molecolari semplici, che sono i sistemi fisici ideali per studiare i cambiamenti che la pressione può produrre in seno alla materia. Nello stato solido l'identità delle molecole che compongono i cristalli molecolari si preserva, ma sopra un certo limite di pressione si manifestano comportamenti di grande interesse sia chimico che fisico. Citiamo solo l'esempio della trasformazione da isolante a metallo, e della polimerizzazione. Nel primo caso arriviamo alla scomparsa di una delle più fondamentali distin-

zioni nel campo dei materiali, quella cioè tra conduttori e isolanti. La metallizzazione è stata osservata in una lunga lista di materiali e in un ampio intervallo di pressioni. Tra i sistemi molecolari lo iodio solido è forse stato il primo ed è particolarmente interessante, perché questo sistema preserva il suo carattere molecolare, pur manifestando proprietà metalliche. Per l'ossigeno lo stato metallico è stato scoperto recentemente da K. Shimizu *et al.* (⁴). La polimerizzazione indotta da pressione nelle molecole insature, dovuta alla riorganizzazione del legame chimico, avviene usualmente a pressioni relativamente basse (4–20 GPa) ed è stata osservata in molecole con legami tripli come l'acetilene ed il cianogeno, e in molecole che possiedono doppi legami come il monossido di carbonio e il bisolfito di carbonio.

52

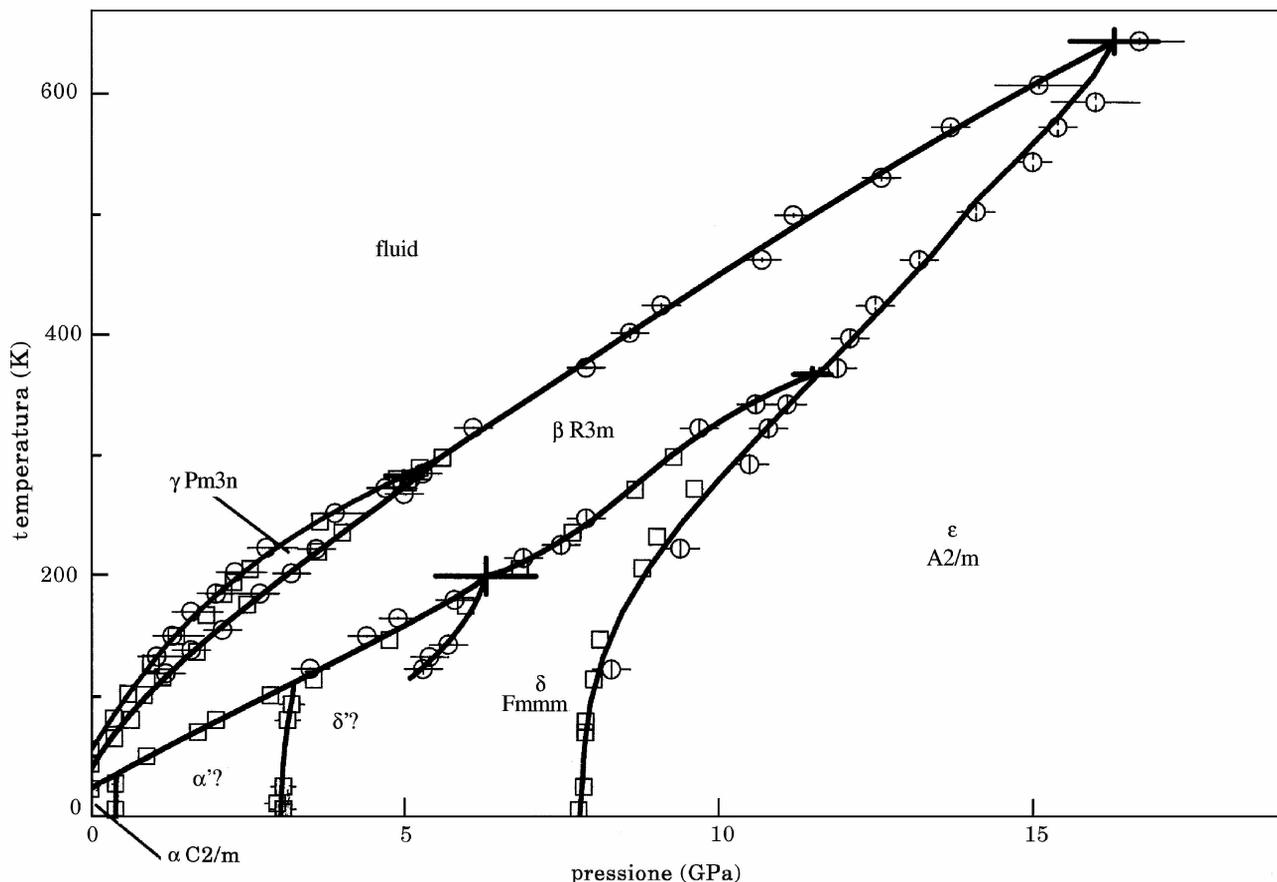


Fig. 3. - Diagramma di fase dell'ossigeno. Esso è caratterizzato da una sequenza di differenti strutture cristalline. In una di queste strutture, chiamata fase gamma, solo i centri di massa sono ordinati, su un reticolo cubico, mentre l'orientazione delle molecole non è fissa. Nelle altre strutture, chiamate α (monoclinica), β (romboedrica) e δ (ortorombica) anche l'orientazione delle molecole è fissa. Tutte queste fasi sono inoltre caratterizzate da una struttura a strati: le molecole di ossigeno risultano perpendicolari ad un piano cristallino e parallele fra loro all'interno di un medesimo strato (⁵). La fase ϵ infine, chiamata anche "fase rossa", risulta stabile in un ampio intervallo di pressioni e temperature, almeno al di sotto dei 600 K e fino alla pressione di metallizzazione, pari a 96 GPa. La struttura di questa fase è monoclinica con otto molecole per cella unitaria, ma la posizione esatta delle molecole e la simmetria locale (di sito) sono ancora sconosciute.

L'ossigeno solido, a pressioni inferiori a circa 10 GPa, ha un diagramma di fase, (fig. 3), assai simile a quello di altri cristalli molecolari come l'azoto. Esso è caratterizzato da una sequenza di differenti strutture cristalline, dove il legame molecolare risulta poco alterato dall'aumento dell'interazione intermolecolare. In una di queste strutture, chiamata fase γ , solo i centri di massa sono ordinati, su un reticolo cubico, mentre l'orientazione delle molecole non è fissa: alcune possono orientarsi in qualunque modo, mentre altre sono vincolate a stare su un piano. Questa identica struttura si trova anche nell'azoto, a pressione e temperatura simili. Nelle altre strutture, chiamate fase α (monoclina), fase β (romboedrica), e fase δ (ortorombica), anche l'orientazione delle molecole è fissa. Tutte queste fasi sono inoltre caratterizzate da una struttura a strati: le molecole di ossigeno risultano perpendicolari ad un piano cristallino e parallele fra loro all'interno di un medesimo strato⁽⁵⁾. A bassa temperatura, soltanto la fase monoclina α è ben caratterizzata, e l'assegnazione della regione del diagramma di fase al di sopra di 0.4 GPa alla fase δ è ancora incerta⁽⁶⁾. Nell'azoto e in altri sistemi simili, anche sopra di 10 GPa l'unità molecolare è una buona base per l'interpretazione dei dati sperimentali. Viceversa, l'ossigeno a 10 GPa si trasforma nella fase ε chiamata anche *fase rossa*, che risulta stabile in un ampio intervallo di pressioni e temperature, ovvero al di sotto di 600 K e fino alla pressione di metallizzazione, pari a 96 GPa. La struttura della fase ε è monoclina con otto molecole per cella unitaria, ma la posizione esatta delle molecole e la simmetria locale, di sito, sono ancora sconosciute. La trasformazione alla fase ε è accompagnata da variazioni delle proprietà termodinamiche ed ottiche assai marcate, ovvero da una notevole riduzione di volume, da un forte cambiamento di colore, come trovato per la prima volta da Nicol *et al.*⁽⁷⁾, e dall'apparizione di una intensa banda di assorbimento nello spettro infrarosso. Queste caratteristiche ci inducono a concludere che l'energia interna della fase ε è molto più bassa di quella delle fasi precedenti, suggerendo un cambiamento qualitativo dell'interazione intermolecolare.

3. La strada che abbiamo seguito per chiarire i comportamenti esotici dell'ossigeno nel-

la fase ε è stata quella di indagarne le proprietà di assorbimento nella regione spettrale dell'infrarosso. Tali proprietà riflettono in maniera caratteristica la dinamica vibrazionale delle molecole, e quindi risultano intimamente connesse alla natura dei legami chimici. La molecola isolata di ossigeno biatomico non manifesta assorbimento infrarosso associato al moto di vibrazione dei nuclei, in quanto, come molecola omonucleare simmetrica, non può avere un momento di dipolo elettrico. Viceversa, nel solido abbiamo osservato due intense bande di assorbimento, una nel medio ed una nel lontano infrarosso, che evidenziano una interazione intermolecolare capace di deformare marcatamente la distribuzione di carica delle molecole originarie. Le due bande inoltre testimoniano un accresciuto numero di gradi di libertà interni dell'attuale unità molecolare. Noi interpretiamo consistentemente i dati spettroscopici sulla base di una associazione fra le molecole biatomiche di ossigeno, che conduce alla formazione di una unità stabile molecolare di tipo O_4 .

Per le misure di assorbimento infrarosso abbiamo utilizzato un interferometro di Michelson a trasformata di Fourier. Questo strumento utilizza lampade di diverso tipo a seconda dell'intervallo di frequenze di interesse, che si può estendere da 100 a 28000 cm^{-1} , con risoluzioni spinte fino a 0.002 cm^{-1} . L'impiego dell'interferometro con una cella ad incudini di diamante ha richiesto la costruzione di un dispositivo per concentrare la radiazione sul campione di piccole dimensioni. Il problema diventa critico nella regione del lontano infrarosso (per valori del numero d'onda minori di 500 cm^{-1}), dove è necessario compensare le perdite per diffrazione, causate dal fatto che le lunghezze d'onda esaminate risultano paragonabili alle dimensioni del campione. Il nostro sistema è molto efficiente: il fascio infrarosso è focalizzato e raccolto da due specchi di alluminio, a profilo ellissoidale. Questo dispositivo consente in definitiva di misurare spettri ad alta pressione nel lontano infrarosso di qualità estremamente elevata. L'alternativa è quella di usare, invece di una lampada, l'intensa radiazione infrarossa emessa da un sincrotrone! L'interferometro infine è attrezzato con un criostato a dito freddo, che permette di raffreddare la cella ad alta pressione fino a

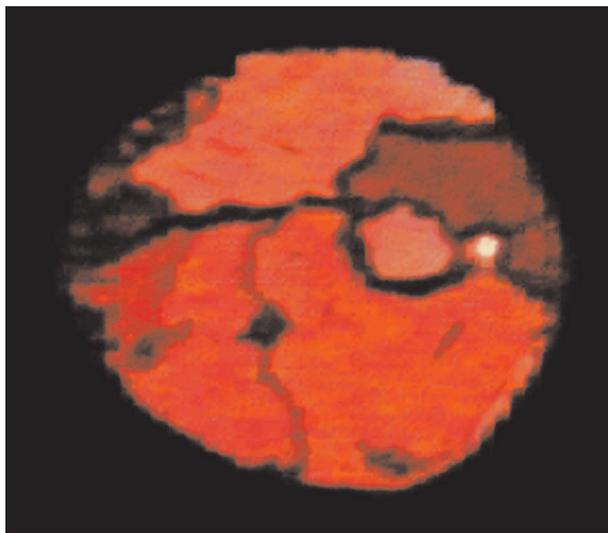


Fig. 4. - Fotografia di un tipico campione policristallino di ossigeno nella fase ϵ . L'intensa colorazione rossa, caratteristica di questa fase solida, risulta evidente. Il materiale inoltre è bi-rifrangente e ciò comporta differenti tonalità di rosso per i cristallini orientati in modo diverso.

15 K⁽⁸⁾. Con la strumentazione disponibile è dunque possibile indagare finemente il diagramma di fase di una sostanza in un ampio intervallo di pressioni e temperature.

Abbiamo analizzato la fase ϵ dell'ossigeno solido in un intervallo di pressioni molto ampio, compreso fra 10 e 63 GPa. La fig. 4 mostra una fotografia di un tipico campione policristallino che evidenzia l'intensa colorazione rossa, caratteristica di questa fase solida. Il materiale inoltre è birifrangente e ciò comporta differenti tonalità di rosso per i cristallini orientati in modo diverso. I cambiamenti di colore che avvengono in seno ad una sostanza manifestano in generale drastiche variazioni degli stati elettronici. Queste modificazioni si ripercuotono sensibilmente sulla dinamica vibrazionale del sistema. Noi abbiamo misurato gli spettri di assorbimento vibrazionale nella regione del medio infrarosso, intorno alla transizione fondamentale relativa al modo di elongazione della molecola ($\approx 1550 \text{ cm}^{-1}$), e nella regione del lontano infrarosso ($\leq 700 \text{ cm}^{-1}$).

4. In fig. 5 riportiamo alcuni degli spettri misurati. Aumentando la pressione a temperatura ambiente, in entrambe le regioni spettrali appare improvvisamente una intensa banda di assorbimento infrarosso alla pres-

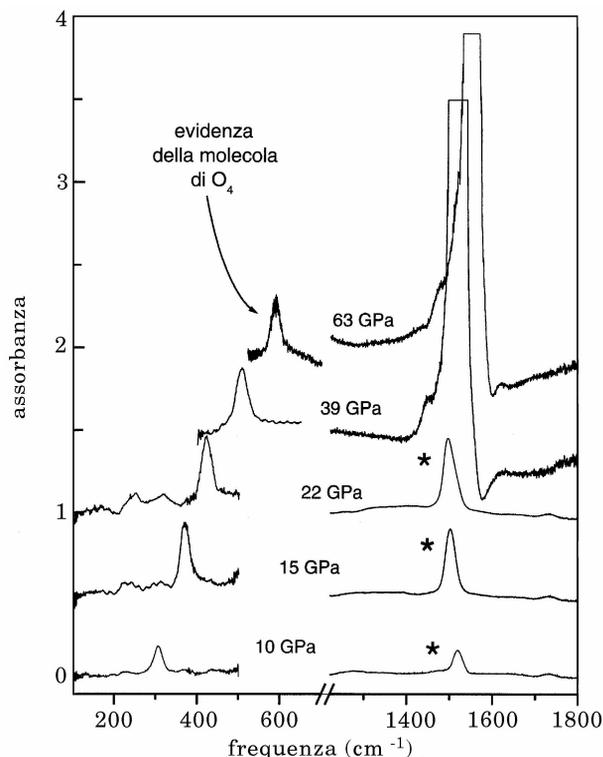


Fig. 5. - Spettri di assorbimento infrarosso a temperatura ambiente. Aumentando la pressione, in entrambe le regioni spettrali analizzate, appare improvvisamente una intensa attività infrarossa in corrispondenza della transizione δ - ϵ . Gli spettri marcati con l'asterisco si riferiscono ad un campione assai sottile ($\leq 0.5 \mu\text{m}$), che ci ha consentito di misurare la intensa banda intorno 1500 cm^{-1} , ν_{MIR} , evitando la saturazione. Inoltre il nuovo assorbimento che compare nella regione del lontano infrarosso, ν_{FIR} , è la manifestazione di una attività molecolare che non è più possibile ricondurre all'originaria unità O_2 .

sione che corrisponde alla transizione δ - ϵ . Gli spettri marcati con l'asterisco si riferiscono ad esperimenti condotti su un campione assai sottile ($\leq 0.5 \mu\text{m}$). Per ottenere questo spessore abbiamo riempito la maggior parte della cella con un sale, NaBr, trasparente alla radiazione infrarossa, riservando all'ossigeno soltanto uno strato molto esiguo. Soltanto in questo modo è stato possibile misurare l'intensa banda intorno a 1500 cm^{-1} , ν_{MIR} , evitando la saturazione. Inoltre il forte assorbimento che compare nella regione del lontano infrarosso, ν_{FIR} , è un risultato davvero sorprendente. La frequenza di questa vibrazione è troppo alta per essere assegnata ad un modo reticolare.

Dalla misura dell'intensità di entrambe le bande infrarosse si ottiene un altro risultato notevole. In tabella I paragoniamo questi va-

TABELLA I. – Intensità normalizzata χ dei modi interni dell'ossigeno e dell'azoto solidi (infrarosso vietati nella molecola isolata), e dei modi vibrazionali di altri cristalli molecolari, infrarosso permessi nella molecola. Il valore in parentesi è l'errore stimato sull'ultima cifra di χ .

Cristallo	Modo	ν (cm ⁻¹)	χ (10 ⁴ cm/g)
CO ₂ ^a ($P \approx 0$)	elongazione antisimmetrica ν_3	2343	31.40
	deformazione ν_2	657	5.27
N ₂ O ^a ($P \approx 0$)	elongazione antisimmetrica ν_3	2235	15.85
	elongazione simmetrica ν_1	1293	2.80
	deformazione ν_2	589	0.69
azoto (40 K, 19 GPa) ^b	elongazione simmetrica ν_2	2370	4.1(4) 10 ⁻⁴
ossigeno (23 K, 7.2 GPa)		1549	7.1(7) 10 ⁻³
ossigeno (ϵ 20 GPa)	ν_{MIR}	1500	13(3)
	ν_{FIR}	400	0.07(2)

^a ref. (10)

^b ref. (9)

lori con quelli dei modi attivi per l'assorbimento infrarosso di molecole come il CO₂ ed lo N₂O nello stato cristallino. Come riferimento consideriamo anche la debole intensità indotta dall'interazione intermolecolare osservata nella fase δ dell'ossigeno a bassa temperatura (6), e nell'azoto a circa 20 GPa (9). Il parametro di confronto adottato consiste nella quantità intensiva χ , definita come l'integrale I dell'assorbanza, normalizzato alla densità ρ e allo spessore ottico d . Osserviamo che il valore di χ per il modo ν_{MIR} è dello stesso ordine di grandezza di quello dei modi molecolari di elongazione nel CO₂ e nello N₂O solidi, che sono infrarosso permessi nella molecola isolata. D'altra parte nelle fasi solide di bassa temperatura dell'ossigeno (δ) e dell'azoto si osservano bande di assorbimento indotte assai più deboli. Il valore di χ del modo ν_{FIR} inoltre, pur essendo inferiore a quelli misurati nei solidi di CO₂ e N₂O, è ancora due ordini di grandezza più elevato di quello dell'azoto.

Gli andamenti delle frequenze in funzione della pressione, per le due bande infrarosse osservate, risultano drasticamente diversi (fig. 6). La posizione del modo ν_{MIR} presenta un minimo pronunciato intorno a 20 GPa. La frequenza ν_{FIR} , viceversa, aumenta rapidamente fino a circa 20 GPa e poi in modo sempre meno rapido fino alle più alte pressioni indagate. D'altra parte, per i due modi infrarossi si trova una notevole somiglianza nell'andamento delle intensità integrate (fig. 7). L'intensità di entrambi i picchi, infatti, esibisce un aumento assai repentino fino a 20 GPa, dove avviene una sorta di saturazione. La sorprendente analogia riscontrata per le intensità, inoltre, conferma l'ipotesi che i due

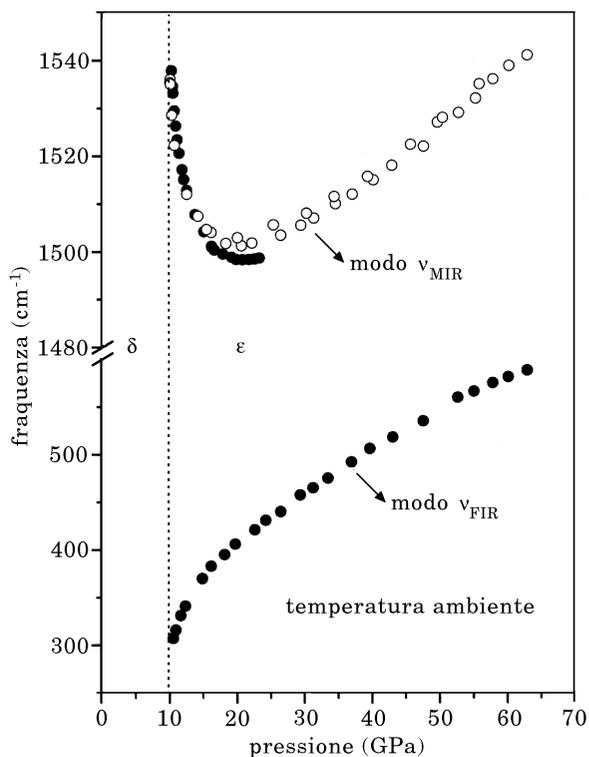


Fig. 6. – Andamento in funzione della pressione delle frequenze di picco per le due bande infrarosse osservate. Le evoluzioni risultano drasticamente diverse. La posizione dell'intensa banda di assorbimento che si sviluppa intorno ai 1500 cm⁻¹, ν_{MIR} , presenta un minimo pronunciato intorno a 20 GPa. Viceversa, la frequenza del modo nel lontano infrarosso, ν_{FIR} , aumenta rapidamente fino a circa 20 GPa e poi in modo sempre meno rapido fino alle più alte pressioni indagate.

modi siano della medesima natura, ovvero che in entrambi i casi si tratti di vibrazioni interne delle molecole.

Il trasferimento della carica elettronica fra le molecole diventa a questo punto di impor-

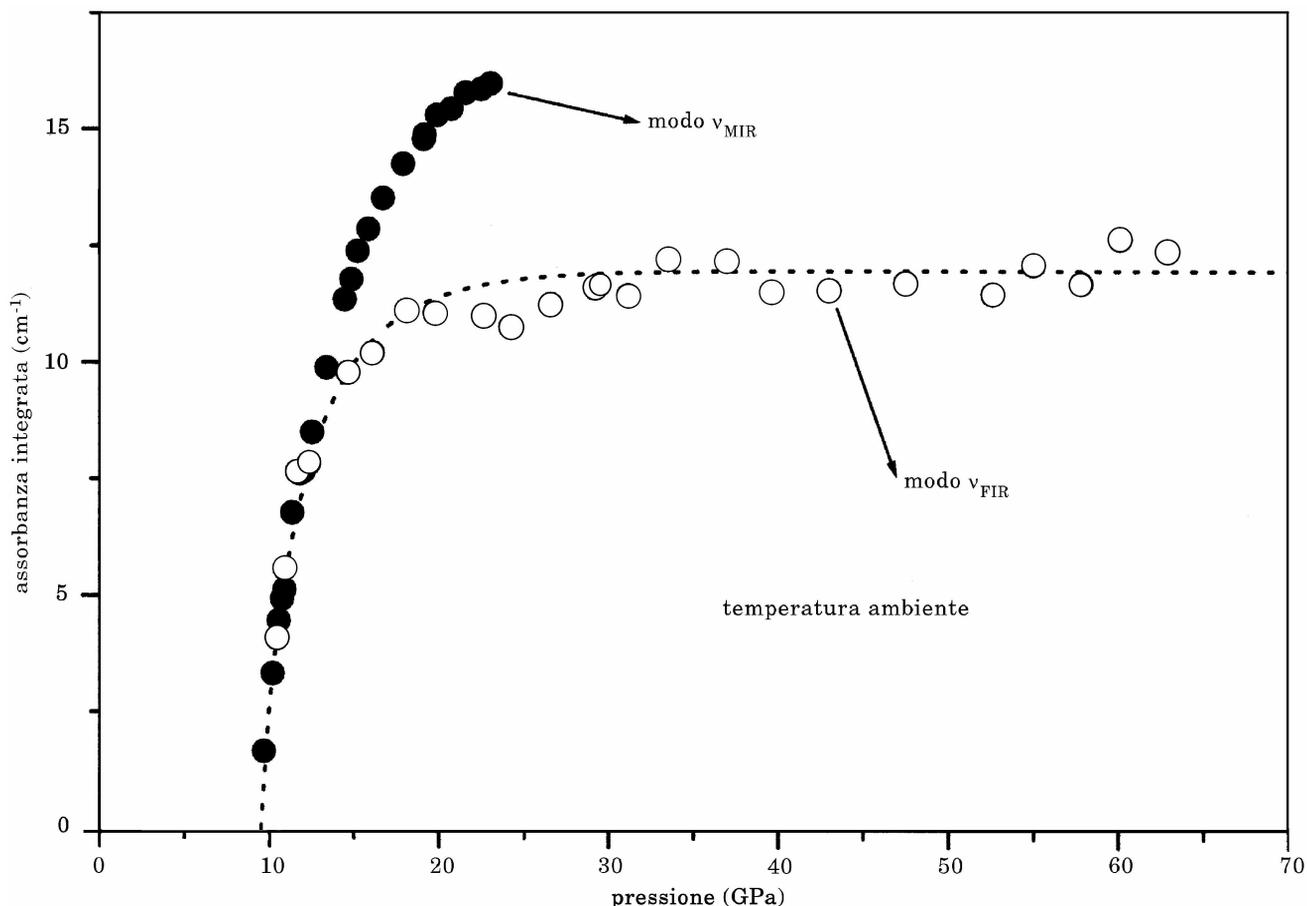


Fig. 7. – Andamento in funzione della pressione dell'intensità integrata per i modi ν_{FIR} (tondi vuoti) e ν_{MIR} (tondi pieni). La linea tratteggiata è una guida per l'occhio. I due andamenti sono assai simili. Entrambi i picchi, infatti, esibiscono un aumento assai repentino fino a 20 GPa, dove avviene una sorta di saturazione. Tale sorprendente analogia conferma l'ipotesi che i due modi siano della medesima natura, ovvero che in entrambi i casi si tratti di vibrazioni interne delle molecole.

56

tanza primaria per comprendere gli straordinari effetti osservati nella fase rossa. Tutti i risultati presentati, infatti, possono essere interpretati assumendo che fra 10 e 20 GPa tale meccanismo, già notevolmente attivo a pressioni più basse⁽⁶⁾, diventi talmente efficace da condurre alla formazione di un vero e proprio legame chimico fra molecole prime vicine. È possibile pertanto analizzare gli spettri vibrazionali sulla base di una nuova molecola, il cui processo di formazione è regolato dalla pressione e si estende presumibilmente da 10 a 20 GPa. L'unità più semplice che consideriamo deriva dal legame di due molecole di ossigeno. La geometria dell'unità O_4 può essere ragionevolmente considerata rettangolare, secondo le considerazioni seguenti. In corrispondenza della transizione di fase δ - ε si verifica una forte riduzione di volume, dovuta prevalentemente ad una contrazione in seno agli strati di molecole parallele. Aumentando

ulteriormente la pressione fino 35.0 GPa, le distanze fra le molecole di uno strato si riducono di circa il 10 per cento assumendo un valore dell'ordine di 2.5–2.2 Å, mentre le distanze fra atomi di ossigeno primi vicini appartenenti a molecole che giacciono su piani diversi è sempre considerevolmente maggiore. Queste considerazioni puramente geometriche suggeriscono che il nuovo legame si sviluppi all'interno degli strati molecolari. Anche per i dimeri O_2 - O_2 in fase gassosa la geometria rettangolare risulta essere la più stabile, con una buca di potenziale pronunciata (1.65 kJmol⁻¹) per lo stato fondamentale di singoletto dove le molecole distano di 3.56 Å⁽¹¹⁾. La stessa geometria è stata osservata, per mezzo della spettroscopia elettronica ad alta risoluzione, nei dimeri O_2 - O_2 in matrice di neon solido a 4 K, con una distanza fra le molecole di 3.41 Å⁽¹²⁾. Poiché la distanza fra molecole prime vicine negli strati carat-

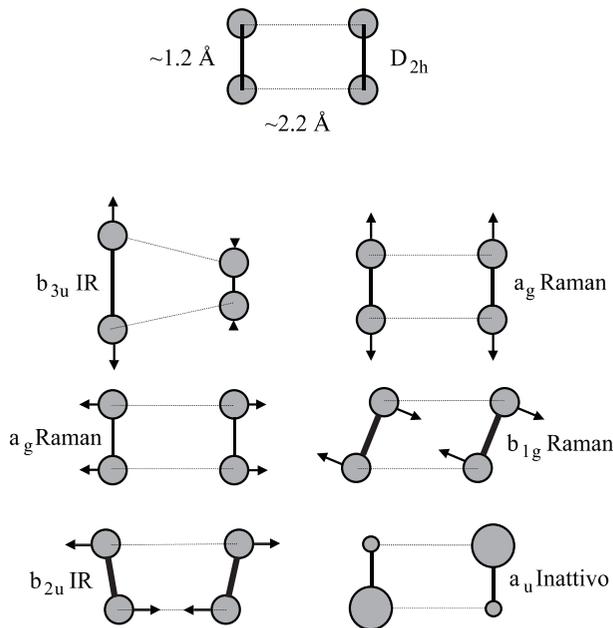


Fig. 8. - Diagramma dei modi della molecola di O_4 , con relative proprietà di simmetria e di attività infrarossa e Raman. Il quadro di una unità O_4 prevede sei modi vibrazionali: un modo di elongazione simmetrico (a_g) ed uno antisimmetrico (b_{3u}) che coinvolgono il legame interno O-O della molecola biatomica originaria, due modi di elongazione analoghi rispettivamente simmetrico (a_g) ed antisimmetrico (b_{2u}) che coinvolgono i nuovi legami O_2-O_2 , un modo di deformazione nel piano (b_{1g}) ed uno fuori del piano (a_u).

teristici della fase ε è del 30 per cento più bassa di tale valore, il modello del nuovo legame chimico O_2-O_2 risulta più che attendibile.

Il quadro di una unità O_4 prevede sei modi vibrazionali (fig. 8) caratterizzati da proprietà di simmetria diverse: un modo di elongazione simmetrico (a_g) ed uno antisimmetrico (b_{3u}) che coinvolgono il legame interno O-O della molecola biatomica originaria, due modi di elongazione analoghi rispettivamente simmetrico (a_g) ed antisimmetrico (b_{2u}) che coinvolgono i nuovi legami O_2-O_2 , un modo di deformazione nel piano (b_{1g}) ed uno fuori del piano (a_u). Noi abbiamo eseguito un calcolo su di un dimero O_2-O_2 , usando la teoria del funzionale densità (funzionali B3LYP) con l'insieme di base 6-31 G(D). I risultati della simulazione forniscono una guida qualitativa per interpretare i nostri spettri. In particolare osserviamo che per il modo di elongazione antisimmetrico b_{2u} si ottiene una frequenza pari a 204 cm^{-1} ; esso è attribuito pertanto al nuovo picco ν_{FIR} osservato nella regione del lontano infrarosso. La banda ν_{MIR} inoltre è assegnata alla vibrazione b_{3u} della molecola di

O_4 , per la quale si calcola una frequenza pari a 1465 cm^{-1} . I due modi di elongazione antisimmetrici sono infrarosso-attivi nella molecola isolata; questo ci spiega la forte intensità di assorbimento infrarosso osservata effettivamente nel cristallo. Anche le bande misurate nello spettro Raman vengono consistentemente assegnate, con l'aiuto della simulazione, ai modi simmetrici della molecola di O_4 . In fine comprendiamo facilmente l'aumento repentino della frequenza ν_{FIR} , osservato fino ad una pressione di 20 GPa, e l'opposto andamento della banda ν_{MIR} (fig. 6); il trasferimento della densità di carica determina infatti la formazione del nuovo legame intermolecolare, alle spese di quello intramolecolare originario. La dinamica di questo processo è illustrata chiaramente dall'andamento dell'assorbimento in funzione della pressione (fig. 7).

In conclusione, l'analisi che abbiamo presentato dimostra che la metallizzazione dell'ossigeno è anticipata da una associazione fra le molecole. Prevediamo inoltre che l'unità O_4 si formi in uno stato elettronico di singoletto, ovvero a *spin* risultante nullo. Per tale ragione ci aspettiamo che la fase rossa dell'ossigeno solido sia dia-magnetica.

* * *

Siamo grati al Prof. P.R. Salvi per l'aiuto offerto nei calcoli, ed al Prof. M. Nicol per le utili discussioni e per i suggerimenti. Questo lavoro è stato sostenuto dalla Unione Europea per mezzo del contratto ERB FMGE CT 950017.

Bibliografia

- (1) R. LE TOULLEC, J. P. PINCEAUX e P. LOUBEYRE, *High Press. Res.*, **1**, 77 (1988).
- (2) F. GORELLI, M. SANTORO, L. ULIVI e R. BINI, *Phys. Rev. Lett.*, **83**, 4093 (1999).
- (3) F. GORELLI, M. SANTORO, L. ULIVI e R. BINI, sottomesos a *Phys. Rev. B*.
- (4) K. SHIMIZU, K. SUHARA, M. IKUMO, M.I. EREMETS e K. AMAYA, *Nature*, **393**, 767 (1998).
- (5) M. NICOL e K. SYASSEN, *Phys. Rev. B*, **28**, 1201 (1983).
- (6) F. GORELLI, M. SANTORO, L. ULIVI e R. BINI, *Phys. Rev. B*, **60**, 6179 (1999).
- (7) M. NICOL, K.R. HIRSCH e W.B. HOLZAPFEL, *Chem. Phys. Lett.*, **68**, 49 (1979).
- (8) R. BINI, R. BALLERINI, G. PRATESI e H.J. JODL, *Rev. Sci. Instrum.*, **68**, 3154 (1997).
- (9) R. BINI, L. ULIVI, J. KREUTZ e H.J. JODL, *J. Chem. Phys.*, **112**, 8522 (2000).
- (10) H. YAMADA e W.B. PERSON, *J. Chem. Phys.*, **41**, 2478 (1964).
- (11) V. AQUILANTI, D. ASCENZI, M. BARTOLOMEI, D. CAPPELLETTI, S. CAVALLI, M. DE CASTRO VITORES e F. PIRANI, *Phys. Rev. Lett.*, **82**, 69 (1999).
- (12) J.G. GOODMAN e L.E. BRUS, *J. Chem. Phys.*, **67**, 4398 (1977).

CALCOLATORI QUANTISTICI**A. Ekert***Centre for Quantum Computation,
Clarendon Laboratory, University of Oxford,
Oxford OX1 3PU, U.K.***R. Lupacchini***Dipartimento di Filosofia, Università di
Bologna, via Zamboni 38, 40126 Bologna.*

La storia dei calcolatori quantistici inizia nei primi anni '80 quando Richard Feynman rilevando l'impossibilità di simulare un sistema fisico quantistico con un calcolatore classico, intuisce che certe proprietà quantistiche, come l'interferenza o la non separabilità, potrebbero consentire di costruire un nuovo tipo di calcolatore capace di utilizzare molteplici traiettorie di computazione simultaneamente. Il problema di simulazione in questione deriva dal fatto che la funzione che dà la descrizione completa di un sistema quantistico composto da un elevato numero di particelle non può essere simulata con un normale calcolatore classico, anche probabilistico, perchè ha troppe variabili: le risorse computazionali necessarie per prevedere l'esito dell'evoluzione di uno stato quantistico risultano «intrattabili» per qualunque dispositivo classico. La soluzione indicata da Feynman consiste nel considerare l'atto stesso di eseguire un esperimento e misurare il risultato come equivalente ad un processo di computazione. Ne segue che per simulare un'evoluzione quantistica in modo efficiente l'agente stesso della simulazione dovrebbe essere un dispositivo quantistico. Nel 1985 David Deutsch concretizza la congettura di Feynman nella definizione di un modello di un «calcolatore quantistico universale», una macchina in grado di eseguire qualunque computazione eseguibile su un qualunque altro calcolatore quantistico (o da qualunque macchina di Turing). Nel 1993, Bernstein e Vazirani mostrano che in un calcolatore quantistico il tempo e le altre risorse necessarie non aumentano esponenzialmente con la grandezza o la definizione del sistema fisico da simulare, quindi le computazioni rilevanti sono «trattabili» secondo gli standard della teoria della complessità. In altri termini, viene provato che esiste una macchina di Turing quantistica universale la cui simulazione è limitata da un polinomio. La teoria quantistica sembra pertanto offrire un

ottimo ausilio per la comprensione delle potenzialità e dei limiti dei processi di computazione.

L'intento del presente articolo è quello di fornire una introduzione semplice e sintetica alla computazione quantistica che consenta di apprezzare il significato di questa nuova idea, la sua portata teorica e le possibili implicazioni di carattere pratico.

1. – Calcolatori quantistici vs. classici

Per misurare la diversità tra i calcolatori quantistici e classici può essere opportuno partire dall'unità fondamentale di informazione, il bit. Da un punto di vista fisico, un bit è un sistema fisico a due stati corrispondenti ai due valori logici sì-no, vero falso, o semplicemente 1-0. Nei calcolatori digitali, ad esempio, la tensione tra i piatti in un condensatore rappresenta un bit di informazione: un condensatore carico rappresenta il valore di bit 1 e un condensatore scarico il valore 0. Un bit di informazione può anche essere codificato usando due diverse polarizzazioni di luce o due diversi stati elettronici di un atomo. Tuttavia, in quest'ultimo caso, secondo la meccanica quantistica, oltre ai due stati elettronici di base, l'atomo può essere in una qualunque «sovrapposizione coerente» dei due stati. Questo significa che l'atomo è *sia* nello stato 0 *sia* nello stato 1. L'idea che un oggetto fisico possa essere in «due stati contemporaneamente», se di primo acchito può sembrare controintuitiva, acquista un preciso significato alla luce del semplice esperimento illustrato in figura 1. Ci sia consentito di richiamare molto brevemente un fenomeno ben noto per avere un riferimento puntuale specifico per la discussione che segue.

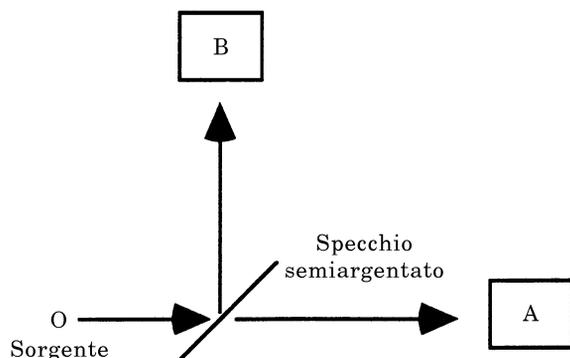


Fig. 1.

Un fotone emesso da una sorgente e diretto verso uno specchio semiriflettente disposto a 45° rispetto alla traiettoria del raggio incidente viene riflesso o trasmesso dallo specchio? Assumendo che un fotone sia una particella indivisibile, dovrebbe essere trasmesso o riflesso con la stessa probabilità (del 50%). Di fatto ciò è quanto può essere osservato sistemando un rivelatore lungo ciascuna delle due traiettorie e ripetendo l'esperimento un certo numero di volte. La conclusione che si ricava da questo semplice esperimento sembrerebbe dunque che il fotone segua l'una o l'altra traiettoria con la stessa probabilità. Ma secondo la meccanica quantistica le cose non vanno affatto così: il fotone segue entrambe le traiettorie contemporaneamente. Per dimostrarlo basta far ricongiungere i due raggi nel modo illustrato in figura 2.

Se le due traiettorie sono esattamente della stessa lunghezza, il fotone raggiunge sempre il rivelatore A nella direzione parallela alla traiettoria del raggio incidente (la probabilità è del 100%). La conclusione allora è che il fotone segue entrambi i percorsi, dato che i due raggi devono interferire perché si annulli quell'ultimo tratto di traiettoria che condurrebbe il fotone nel rivelatore B. Tuttavia, se uno dei due percorsi viene bloccato con uno schermo assorbente, le due possibilità di arrivo ai rivelatori A e B tornano ad essere equiprobabili. Sembrerebbe pertanto che, quando entrambe le traiettorie sono aperte, il fotone in viaggio lungo una delle due riceva una qualche informazione che gli impedisce di raggiungere B, un'informazione che viaggia lungo l'altra traiettoria con la stessa velocità della luce.

Questa proprietà dell'*interferenza quantistica* — secondo cui ogni particella osservata

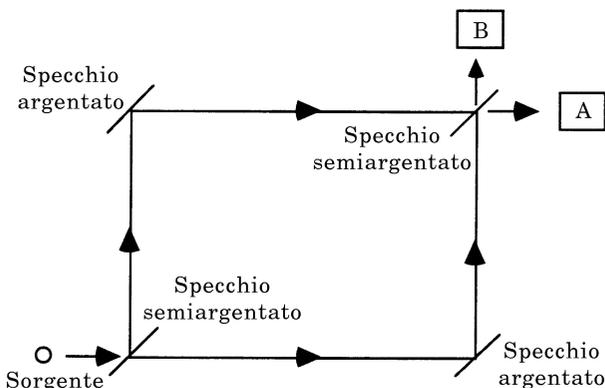


Fig. 2.

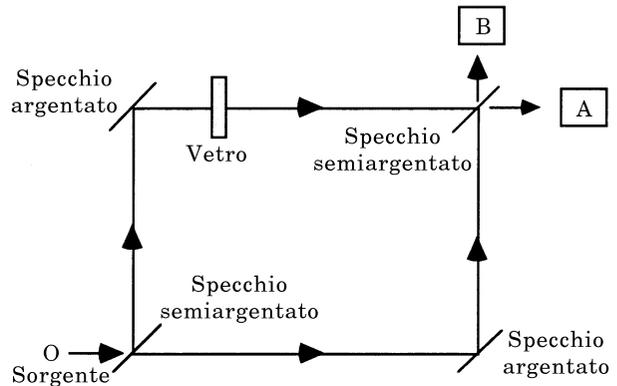


Fig. 3.

può essere influenzata nel suo moto dall'interazione con una sua «controparte invisibile» — vale non solo per i fotoni, ma per tutti i sistemi fisici. Un suo effetto, particolarmente utile per la computazione quantistica, può essere ottenuto ritardando il fotone in una delle traiettorie, per esempio con un piccolo pezzo di vetro inserito lungo quella traiettoria (fig. 3). Dato che l'interferenza dipende dalla differenza di cammino ottico è possibile scegliere lo spessore del vetro, e quindi il ritardo, in modo tale che il fotone arrivi con certezza al rivelatore B invece che ad A. Il risultato finale pertanto può essere modificato intervenendo soltanto in una delle traiettorie.

Proprio come il fotone può essere in una *sovrapposizione coerente* degli stati rappresentati dalle due traiettorie, così qualunque bit quantistico, o «qubit», può essere in una sovrapposizione dei suoi stati logici 0 e 1. È in questo senso che un qubit può contenere simultaneamente 0 e 1, in proporzioni arbitrarie. Ma si noti che, come il fotone, se osservato, può essere rivelato soltanto in una delle due traiettorie, così misurando un qubit si può ottenere soltanto uno dei suoi due possibili valori a caso. La domanda che naturalmente si pone è se non sia possibile costruire metodi di computazione efficienti sfruttando il principio di sovrapposizione.

Un'idea che si è rivelata molto feconda per la computazione quantistica è quella della sovrapposizione dei numeri. Si consideri un «registro» composto di tre bit fisici. Qualunque registro classico di questo tipo può contenere, in un dato momento, soltanto uno degli otto diversi numeri corrispondenti alle otto possibili combinazioni dei tre bit: 000, 001, ..., 111. Invece un registro quantistico composto

di tre qubit può contenere, in un dato momento, tutti gli otto numeri in una sovrapposizione quantistica. Il fatto che gli otto numeri siano tutti fisicamente presenti nel registro, dopo tutto, non dovrebbe sorprendere più del fatto che un qubit possa essere negli stati 0 e 1 nello stesso tempo. Aggiungendo altri qubit nel registro la sua capacità aumenta esponenzialmente: se tre qubit consentono di avere otto diversi numeri nel registro, quattro qubit ne consentiranno 16, cinque qubit 32 numeri, e così via, in generale con L qubit si avranno 2^L numeri diversi. Quando il registro è preparato in una sovrapposizione di numeri, si possono eseguire operazioni su tutti i numeri presenti. Per esempio, se i qubit sono atomi, degli impulsi laser adeguati possono modificare gli stati elettronici degli atomi e far evolvere le sovrapposizioni iniziali dei numeri codificati in sovrapposizioni diverse. L'evoluzione interessa ogni numero nella sovrapposizione e pertanto ciò che ne risulta è una enorme computazione parallela in un solo pezzo di *hardware* quantistico. Questo significa che un calcolatore è in grado di eseguire in un solo passo la stessa operazione matematica su 2^L diversi numeri di *input* codificati in una sovrapposizione coerente di L qubit. Un calcolatore classico, per eseguire la stessa operazione, dovrebbe ripetere la stessa computazione 2^L volte, oppure bisognerebbe usare 2^L diversi processori che lavorino in parallelo.

60

2. – Algoritmi quantistici

La possibilità di sfruttare risorse computazionali inaccessibili ai calcolatori classici e il conseguente impatto sul progresso tecnologico dovrebbe già costituire una valida ragione per sviluppare la ricerca sui calcolatori quantistici. Ma si tratta solo di questo? In fondo, si potrebbe obiettare, un calcolatore classico può eseguire le stesse computazioni di un calcolatore quantistico, ha solo bisogno di più tempo o più memoria. In alcuni casi, tuttavia, un calcolatore classico per raggiungere la potenza di un calcolatore quantistico potrebbe aver bisogno di una quantità di tempo o memoria *esponenzialmente* maggiore e una crescita esponenziale molto rapida potrebbe voler dire che tempo o memoria disponibili si esauriranno molto in fretta. Questo genere di

considerazioni portano nel campo della teoria della complessità il cui obiettivo consiste appunto nel quantificare la nozione di efficienza computazionale nei termini delle risorse che si possono utilizzare. È su questo terreno quindi che è opportuno collocarsi per confrontare la potenza dei calcolatori classici e quantistici.

Per risolvere una certa classe di problemi, il calcolatore segue un preciso insieme finito di istruzioni — un «algoritmo» — che possono essere applicate meccanicamente per produrre la soluzione in qualunque caso particolare del problema. Non tutti gli algoritmi hanno la stessa efficienza, alcuni sono veloci (come nel caso della moltiplicazione), altri lenti. Gli algoritmi classici per la fattorizzazione, ad esempio, sono del secondo tipo. Un modo rigoroso di caratterizzare l'efficienza degli algoritmi consiste nel definire «veloce» un algoritmo se il tempo richiesto per eseguirlo non aumenta più rapidamente di una funzione polinomiale della lunghezza dell'*input*. Approssimativamente si può pensare la lunghezza dell'*input* data dal numero totale di bit necessari per specificare l'*input* del problema; per esempio, il numero di bit necessari per codificare il numero che si vuole fattorizzare. In base alla definizione appena data, la fattorizzazione è un problema difficile per qualunque calcolatore classico: tanto per la macchina di Babbage quanto per il più moderno dei calcolatori digitali, il tempo di esecuzione cresce esponenzialmente in tutti i casi. Ne consegue che un progresso puramente tecnologico può soltanto aumentare la velocità delle computazioni di un certo fattore moltiplicativo che tuttavia non incide sulla dipendenza esponenziale del tempo di esecuzione dalla lunghezza dell'*input*. Per un cambiamento in tal senso occorre inventare nuovi e più efficienti algoritmi. E il vero punto di forza della computazione quantistica sta proprio nella possibilità di elaborare algoritmi più efficienti, perchè capaci di sfruttare la sovrapposizione quantistica e quindi di tenere insieme un grandissimo numero di termini diversi. In quale modo?

Se dopo aver preparato un registro quantistico di L qubit in una sovrapposizione di 2^L numeri si cerca di osservarne uno particolare, il risultato non può che essere un numero a caso. Infatti, sebbene il registro contenga tutti i 2^L numeri, le leggi della fisica consen-

tono di vederne uno soltanto. La situazione è analoga a quella mostrata nell'esperimento in figura 1 dove un fotone che incontra uno specchio semiriflettente è in grado di percorrere simultaneamente due traiettorie, a condizione che non venga osservato: se sono introdotti i due rivelatori A e B lungo le traiettorie, il fotone colpisce sempre alternativamente uno dei due. Ma è opportuno dare ancora uno sguardo agli esperimenti riportati nelle figure 2 e 3, dove la singola risposta «A» o «B» dipende dall'informazione che viaggia lungo ciascuna delle due traiettorie. Si noti che in generale l'interferenza quantistica consente di ottenere un unico risultato finale che dipende logicamente da tutti i 2^L risultati intermedi. Con un pizzico di immaginazione si può pensare che ciascuna delle 2^L traiettorie computazionali sia interessata da un qualche processo che produce un effetto analogo a quello del pezzo di vetro in figura 3. In tal modo ogni traiettoria di computazione può contribuire al risultato finale.

Per capire meglio la novità e la forza della teoria quantistica della computazione e come sia possibile generare metodi di computazione classicamente impossibili, sfruttando l'interferenza e la sovrapposizione quantistiche, due esempi di algoritmi quantistici risultano particolarmente eloquenti.

2.1. – Algoritmo di Grover

Un algoritmo quantistico, recentemente scoperto da Lov Grover, riesce a determinare una lista di N elementi in \sqrt{N} passi. Si consideri, ad esempio, la ricerca di un numero telefonico in un elenco che contiene un milione di voci archiviate nella memoria del calcolatore in ordine alfabetico. Nessun algoritmo classico è riuscito a migliorare il metodo primitivo di esaminare semplicemente le varie voci una alla volta finché non si trova il numero cercato, un procedimento che richiede in media 500.000 accessi di memoria. Un calcolatore quantistico può esaminare tutte le voci simultaneamente, nel tempo di un solo accesso. Tuttavia, se fosse programmato soltanto per stampare il risultato ottenuto a questo punto, non ci sarebbe alcun miglioramento rispetto all'algoritmo classico: solo una su un milione di traiettorie computazionali controllerebbe la voce che stiamo cercan-

do, quindi la probabilità di ottenere l'informazione cercata misurando lo stato del calcolatore sarebbe di uno su un milione. Ma se l'informazione quantistica resta nel calcolatore, senza essere misurata, una successiva operazione quantistica può far sì che l'informazione influenzi altre traiettorie, proprio come nel semplice esperimento d'interferenza descritto sopra. Ora, se questa operazione generatrice di interferenza viene ripetuta un migliaio di volte (in generale, \sqrt{N} volte) l'informazione su quale voce contiene il numero desiderato potrà essere misurata con una probabilità del 50% — cioè, sarà diffusa in più della metà delle traiettorie. Ripetendo l'intero algoritmo ancora un pò di volte si otterrà la voce desiderata con una probabilità straordinariamente prossima a 1.

Come indicato recentemente da Gilles Brassard dell'Università di Montréal, un'importante applicazione dell'algoritmo di Grover sarà in crittanalisi, per decifrare i classici schemi crittografici come il DES (Data Encryption Standard). Per scardinare il DES bisogna ricercare circa $2^{56} = 7 \times 10^{16}$ chiavi possibili. Ammesso che possano essere controllate un milione di chiavi al secondo, un calcolatore classico avrebbe bisogno di mille anni per scoprire la chiave corretta, mentre a un calcolatore quantistico che usi l'algoritmo di Grover basterebbero meno di quattro minuti. In effetti, molti dei risultati più significativi ottenibili grazie ai calcolatori quantistici potrebbero avere importanti applicazioni in crittografia. Uno di questi è l'algoritmo di Grover appena considerato, un altro è l'algoritmo quantistico scoperto nel 1994 da Peter Shor per fattorizzare i grandi numeri. In questo caso la differenza tra calcolatori classici e quantistici è esponenziale.

2.2. – Algoritmo di Shor

Un modo molto semplice per fattorizzare un numero intero N consiste nel controllare il resto della divisione di N per qualche numero p minore di \sqrt{N} . Se il resto è 0, si conclude che p è un fattore. Questo metodo di fatto è molto inefficiente: con un calcolatore che può controllare 10^{10} diversi p al secondo (più veloce quindi di qualsiasi calcolatore disponibile), il tempo medio per trovare il fattore di un numero di 60 cifre supererebbe l'età dell'uni-

verso! Invece di utilizzare questo metodo di divisione piuttosto banale, i calcolatori quantistici sfruttano una tecnica leggermente diversa per eseguire fattorizzazioni in modo efficiente. Si può dimostrare infatti che c'è una relazione tra il problema di fattorizzare un numero e quello di valutare il periodo di una certa funzione. Per capire come funziona questo metodo, la cosa migliore è considerare un semplice esempio concreto. Si immagini di voler trovare i fattori primi del numero $N = 15$. Si può procedere scegliendo a caso un numero a minore di N e coprimo con N , per esempio $a = 7$ e definendo una funzione $f(x) = 7^x \bmod 15$. Questa funzione dà il resto della divisione di 7^x per 15. Per esempio, se $x = 3$, si ottiene $f(x) = 13$ perché $7^3 = 343$ e 343 diviso per 15 dà 22 con il resto di 13. La matematica ci dice che $f(x)$ è periodica e che il suo periodo r può essere collegato ai fattori di 15. Nel nostro esempio, possiamo controllare facilmente che $f(x)$ dà 1, 7, 4, 13, 1, 7, 4, ... per i valori di $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$ e concludere che il periodo è $r = 4$. Con questa informazione, per calcolare i fattori di N basta valutare il massimo comun divisore di N e $a^{r/2} \pm 1$. Nel nostro esempio, si avrà dunque $\text{MCD}(15, 48) = 3$ e $\text{MCD}(15, 50) = 5$, che sono proprio i fattori di 15.

62

Ovviamente per i calcolatori classici questo nuovo metodo non è molto utile dato che, per trovare il periodo di f , bisogna valutare la funzione f un gran numero di volte (il numero medio di valutazioni richieste per trovare il periodo è dello stesso ordine del numero di divisioni necessarie con il metodo semplice cui si è accennato sopra). Con un calcolatore quantistico la situazione è completamente diversa: sistemando un registro quantistico in una sovrapposizione di stati che rappresentano 0, 1, 2, 3, ... è possibile computare in un singolo passo i valori $f(0), f(1), f(2), f(3), \dots$. Questi valori possono essere codificati in stati sovrapposti di un registro quantistico. Per ricavare il periodo da essi occorre un altro passo (noto come «trasformata quantistica di Fourier»), che può ugualmente essere eseguito in modo molto efficiente da un calcolatore quantistico.

La fattorizzazione di numeri con migliaia di cifre è un compito intrattabile con mezzi classici; un calcolatore quantistico invece potrebbe fattorizzare numeri di migliaia di cifre in una frazione di secondo, e il tempo d'esecu-

zione aumenterebbe soltanto con il cubo del numero delle cifre. Sul fatto che la fattorizzazione sia un problema intrattabile si basa la sicurezza dei codici segreti più affidabili, costruire un dispositivo quantistico quindi vorrebbe dire rendere insicuri tutti i sistemi crittografici di quel tipo e proprio la crittografia rappresenta uno dei più semplici tipi di computazione quantistica, per la semplice ragione che richiede soltanto un qubit e un passo di computazione alla volta.

3. – Dalla teoria agli esperimenti

Qualunque sistema quantistico con almeno due livelli di energia discreti e sufficientemente separati può essere un qubit. Finora i qubit più comuni tra gli sperimentatori sono costituiti da atomi di rubidio o di berillio. In un atomo, i livelli d'energia dei vari elettroni sono discreti. Due di essi possono essere selezionati ed etichettati come 0 e 1. Questi livelli corrispondono agli stati eccitati specifici degli elettroni nell'atomo. Per avere un'idea di come sia possibile controllare i due valori logici, si può semplificare la situazione e considerare un atomo idealizzato con un singolo elettrone e due livelli di energia, uno stato di base (al quale assegnamo il valore 0) e uno stato eccitato (valore 1).

Immaginiamo che l'atomo sia inizialmente nello stato 0 e che si voglia effettuare l'operazione *NON*. L'operazione *NON* nega semplicemente il valore logico, cosicché 0 diventa 1 e 1 diventa 0. Questo si può realizzare facilmente con gli atomi. Dato un impulso luminoso di intensità, durata e lunghezza d'onda appropriate (la lunghezza d'onda deve essere in accordo con la differenza di energia tra i due livelli), è possibile costringere l'elettrone a cambiare livello di energia. Nel nostro caso, l'elettrone inizialmente nello stato di base assorbirà una certa quantità di energia dall'impulso luminoso e passerà nello stato 1. Se l'elettrone fosse inizialmente nello stato 1, per effetto dell'impulso luminoso, passerebbe nello stato 0.

L'operazione di negazione appena descritta rientra completamente nel dominio classico, altre operazioni logiche puramente quantistiche, tuttavia, non hanno alcun analogo classico. Per esempio, usando un impulso luminoso di una durata inferiore di un mezzo, rispetto

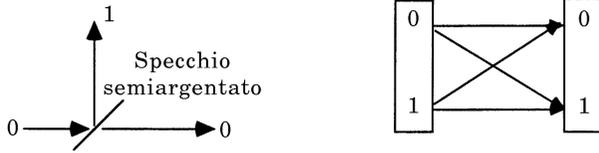


Fig. 4.

a quella necessaria per eseguire l'operazione di negazione, si ottiene un effetto intermedio tra i due stati logici. Che cosa vuol dire? In sostanza, vuol dire che l'operazione *NON* — da cui si ottiene: $0 \rightarrow 1$ o $1 \rightarrow 0$ — è eseguita solo a metà e che lo stato dell'atomo dopo un impulso dimezzato non è né 0 né 1 ma una sovrapposizione coerente di entrambi gli stati. Proprio come il fotone che, dopo aver incontrato lo specchio semiriflettente in figura 1, viaggia lungo entrambe le traiettorie A e B, così l'elettrone dell'atomo è sia nello stato 0 che nello stato 1 (fig. 4). Tuttavia, e questo è il fatto essenziale, agendo su un atomo in tale stato intermedio con un altro impulso luminoso di durata dimezzata, l'operazione *NON* sarà completata e si otterrà lo stato opposto (fig. 5).

Dato che l'operazione di negazione è ottenuta come risultato di due «semi-passi» quantistici consecutivi, questa operazione puramente quantistica viene chiamata radice quadrata di *NON* (\sqrt{NON}). Usando «semi-impulsi» di questo tipo è possibile creare sovrapposizioni di stati nella memoria di un calcolatore quantistico (una memoria dovrebbe consistere di molti atomi), e di conseguenza si apre la prospettiva di nuove computazioni. Operazioni logiche successive generalmente richiederanno operazioni fisiche più complicate su più di un solo qubit.

La teoria della probabilità o altre teorie matematiche classiche non contemplano casi di questo tipo, mentre la teoria quantistica consente di descrivere correttamente il comportamento di \sqrt{NON} e di calcolare le probabilità di tutti i possibili *output*, comunque si scelga di concatenare le macchine. È il concetto di «ampiezza di probabilità» che offre la

chiave per descrivere tutte le macchine calcolatrici quantistiche dalle più semplici, come \sqrt{NON} , alla generalizzazione quantistica della macchina universale di Turing. L'aggiunta delle ampiezze di probabilità, piuttosto che delle probabilità, è una delle regole fondamentali per la previsione in meccanica quantistica e si applica a tutti gli oggetti fisici, in particolare ai calcolatori quantistici. Se un calcolatore parte in una specifica configurazione iniziale (*input*) allora la probabilità che, dopo la sua evoluzione attraverso una sequenza di configurazioni intermedie, finisca in una specifica configurazione finale (*output*) è il modulo quadrato della somma di tutte le ampiezze di probabilità dei cammini computazionali che connettono l'*input* con l'*output*. Le ampiezze sono numeri complessi e possono annullarsi reciprocamente, in caso di *interferenza distruttiva*, o incrementarsi, in caso di *interferenza costruttiva*. L'idea fondamentale della computazione quantistica consiste nell'usare l'interferenza quantistica per amplificare gli *output* corretti delle computazioni e ridurre quelli scorretti.

Ma saremo mai in grado di costruire un calcolatore quantistico? In linea di principio sappiamo come costruire un calcolatore quantistico; si può partire con semplici porte logiche quantistiche e cercare di integrarle mediante circuiti quantistici. Una porta logica quantistica, come una porta classica, è un dispositivo di computazione molto semplice che esegue una operazione elementare alla volta, solitamente su due qubit, in un dato periodo di tempo. Ovviamente le porte quantistiche sono diverse dalle loro controparti classiche perché possono creare ed eseguire operazioni su sovrapposizioni quantistiche. Tuttavia, nel lavoro di assemblaggio delle porte quantistiche in circuiti ci troviamo presto di fronte seri problemi pratici. Quanto più interagiscono i qubit utilizzati, tanto più difficile diventa progettare l'interazione in grado di produrre l'interferenza quantistica. Oltre alle difficoltà tecniche di lavorare alle dimensioni di un singolo fotone e di un singolo atomo, uno dei problemi più importanti è quello di impedire che l'ambiente circostante sia influenzato dalle interazioni che generano le sovrapposizioni quantistiche. Tanto più alto è il numero dei componenti, tanto più alta è la probabilità che la computazione quantistica si disperda al di fuori dell'unità computazionale e l'informa-

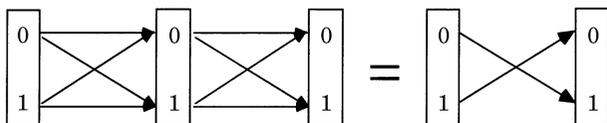


Fig. 5.

zione utile si disperda irreversibilmente nell'ambiente. Questo processo è chiamato decoerenza. Il punto allora sta nell'ideare sistemi sub-microscopici in cui i qubit interagiscono tra loro ma non con l'ambiente.

Alcuni fisici sono pessimisti riguardo alla possibilità di ottenere progressi sperimentali significativi in questo campo, credono che la decoerenza non sarà mai ridotta in modo tale da consentire di eseguire un numero non esiguo di passi in una computazione quantistica. Altri ricercatori più ottimisti prevedono che la disponibilità di calcolatori quantistici veri e propri sia questione di anni più che di decenni. Al momento la sfida più stimolante non è quella di costruire i calcolatori, ma di passare da esperimenti in cui i fenomeni quantistici vengono semplicemente osservati ad esperimenti in cui si possono *controllare* tali fenomeni. È il primo passo verso le porte logiche quantistiche e le reti quantistiche semplici.

Bibliografia

- BERNSTEIN, E. e VAZIRANI, U. (1993), *Quantum complexity theory* in *Proceedings of the 25th A. ACM Symposium on Theory of Computing*, pp. 11-20.
- DEUTSCH D. (1985), «Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer», *Proc. R. Soc. Ser. A*, 400, pp. 97-117.
- DEUTSCH D. (1997), *The Fabric of Reality* (London, Penguin Press) traduzione italiana *La trama della realtà* (Torino, Einaudi, 1997).
- EKERT, A. e JOZSA, R. (1996) «Quantum computation and

Shor's factoring algorithm», *Rev. Mod. Phys.*, vol. 68, pp. 733-753.

FEYNMAN R. (1982), «Simulating physics with computers», in *Inter. J. Theor. Phys.*, 21, 6/7, pp. 467-488; traduzione italiana in «Le Scienze quaderni» numero 56, ottobre 1990, pp. 82-91.

GROVER L. (1996), «A fast quantum mechanical algorithm for database search» in *Proceedings of the 28th annual ACM symposium on the theory computing* (New York, ACM Press), pp. 212-218.

HERKEN R. (a cura di) (1988), *The universal Turing machine. A half-century survey* (Oxford, University Press).

HODGE A. (1983), *Alan Turing: the Enigma* (New York, Simon & Schuster) traduzione italiana *Storia di un enigma. Vita di Alan Turing* (Torino, Bollati Boringhieri, 1991).

RIVEST R., SHAMIR A. e ADLEMAN L. (1979), «On Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems», Technical Report MIT/LCS/TR-212, MIT Laboratory for Computer Science, January.

SHOR P. (1994), «Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring» a cura di S. GOLDWASSER, *Proceedings of the 35th annual symposium on the foundations of computer science* (Los Alamos, CA, IEEE Computer Society Press), pp. 124-134.

Per altre informazioni sui calcolatori quantistici si può consultare il sito Internet: <http://www.qubit.org>

Erratum

Nell'articolo di Fiorini *et al.* «Misure di contaminazione del radiocesio e valutazione del suo danno biologico» comparso nello scorso numero del Nuovo Saggiatore (vol. 16, no. 1-2 (2000)) a pag. 44-52, ci sono 3 errori nella tabella II (pag. 47): 1^a colonna 3^o box, l'anno di riferimento è 1998 e non 1994; 6^a e 7^a colonna l'unità di misura è Bq/kg e non μ Bq/kg; e un errore alla tabella III, 2^a colonna dove l'unità di misura di nuovo deve essere Bq/kg e non μ Bq/kg.

RECENSIONI

F. Seitz e N. G. Einspruch

La storia del silicio. Elettronica e comunicazione.

Bollati Boringhieri, Torino, 1998; pp. 1-316; Lit. 70.000

In occasione dei cinquant'anni della scoperta del transistor sono comparsi finalmente sull'argomento alcuni studi di un certo interesse che tendono a inquadrare storicamente l'accaduto e le successive implicazioni e conseguenze anche di carattere economico e sociale. Tra questi di particolare interesse è il libro di Seitz e Einspruch dal titolo alquanto esplicitivo «La storia del silicio».

Seitz è uno dei padri fondatori della fisica dello stato solido, ha fornito contributi di particolare rilievo a diversi settori di questa nuova disciplina e basilari sono in particolare i suoi lavori negli anni trenta sulla teoria quantistica della struttura elettronica dei solidi. Tali studi hanno chiarito la differenza tra metalli, isolanti e semiconduttori. Einspruch, l'altro autore, ha svolto la sua attività di ricerca prevalentemente all'interno di una struttura industriale, ha ricoperto tra l'altro la carica di vicepresidente della Texas Instruments Inc., e ne ha diretto l'attività di ricerca nel campo dei dispositivi a semiconduttore. Gli autori sono due protagonisti della storia che descrivono e tante notizie da loro fornite nel testo sono pertanto di prima mano ed acquistano un particolare interesse per il lettore. Il racconto inizia a fine ottocento con gli studi di Lavoisier sull'elemento silicio e sulle sue proprietà chimiche, prosegue con gli studi sia sperimentali che teorici sulle proprietà elettriche dei semiconduttori e sulle loro applicazioni con la realizzazione dei primi dispositivi e si spinge sino ai nostri giorni con accenni alla bio-elettronica, ad internet etc. Nel testo, come inserti, sono riportate per ulteriori approfondimenti, le necessarie

ed essenziali cognizioni di fisica e di chimica utili alla comprensione del comportamento elettrico dei semiconduttori e dei dispositivi a semiconduttore, nonché alcune nozioni sui processi tecnologici adoperati comunemente e frequentemente per la loro fabbricazione.

Data la vastità degli argomenti trattati e le relative implicazioni sarebbero state necessarie ben più delle trecento pagine del presente volume per una descrizione completa. A scapito della completezza la lettura è però molto interessante, la presentazione affascinante ed il volume è ricco di numerose foto, alcune rare e di pregio storico, dei principali artefici e opportuni e numerosi sono i riferimenti bibliografici. Le sezioni dedicate allo sviluppo dei rivelatori al silicio per le microonde nel periodo 1930-45, e quindi legate al Radar, sono particolarmente approfondite.

Lo sviluppo del radar nelle diverse nazioni, sia prima che durante la seconda guerra mondiale, è descritto in dettaglio e ne viene chiarita l'importanza ed il contributo dato all'esito finale del conflitto favorevole agli alleati.

L'altro argomento maggiormente trattato è ovviamente quello del transistor, con gli studi di Bardeen e Brattain sul comportamento elettrico degli stati superficiali e con la loro scoperta alla fine del '47 del transistor a punta di contatto, seguita alcuni mesi dopo da quella di Shockley con il transistor a giunzione p-n in cui viene compreso e sfruttato il ruolo dell'iniezione dei portatori minoritari. La storia del transistor dimostra in maniera esemplare la stretta relazione tra la ricerca di base ed applicata, tra tecnologia ed innovazione, tra sviluppo ed economia. Inoltre, il testo evidenzia chiaramente come la scienza e gli scienziati siano influenzati dagli eventi sociali, economici e politici. La scoperta del transistor conclude infatti una serie di interventi da parte della Bell, mirati alla sostituzione dei diodi, triodi e in generale delle valvole a vuoto con nuovi dispositivi a stato solido più funzionali agli scopi e alla stessa missione della Bell nel campo delle comunicazioni. L'interdisciplinarietà, caratteristica precipua del futuro sviluppo della microelettronica, è già in nuce in que-

sta fase iniziale, alla scoperta del transistor collaborano fisici, chimici, ed ingegneri.

Gli attori primari della storia del silicio sono ricercatori sia europei che statunitensi; ad essi si affiancano manager, industriali, militari etc.

Il libro si chiude con due appendici nelle quali si riportano alcune considerazioni di Patrick Happerty su prospettive dell'elettronica integrata enunciate nel 1964 e di Gordon Moore (1965) sulle implicazioni della riduzione delle dimensioni sui costi del singolo dispositivo, la cosiddetta 1^a Legge di Moore. Entrambe le note dimostrano la lucida visione delle potenzialità applicative e delle barriere da superare per una completa affermazione dei circuiti integrati sul mercato. I progressi dei circuiti integrati negli anni successivi si possono infatti rappresentare solo in scala logaritmica, sia che si parli di numero di transistori per tessera o chip di silicio, o di costo per componente elementare. La riduzione esponenziale della massa, dell'energia dissipata per operazione elementare, del costo e il corrispondente incremento delle prestazioni dei sistemi elettronici hanno consentito la diffusione del personal computer negli anni '80, e della telefonia mobile, negli anni '90, e saranno determinanti per il successivo sviluppo delle comunicazioni e dell'elaborazione dell'informazione multimediale tramite l'uso di apparecchi portatili sempre più piccoli, potenti ed economici.

La lettura del libro è di particolare utilità a tutti coloro che sono coinvolti direttamente nella ricerca in struttura della materia, o che trattano delle sue ricadute, dell'innovazione tecnologica, degli *spin-off*, del trasferimento industriale, etc. Sarebbe utile e formativo anche per gli studenti degli ultimi anni universitari dedicare un certo tempo alla lettura di un testo simile.

I lettori interessati all'argomento e desiderosi di ulteriori approfondimenti potrebbero consultare il libro «*Crystal Fire: the birth of the information age*» di M. Riordan e L. Hodderon (Norton N.Y.) che tratta in maggior dettaglio alcuni aspetti appena considerati da Seitz e Einspruch, nonché l'articolo

«*The invention of the transistor*» M. Riordan, L. Hodderon, e C. Herring pubblicato in occasione del centenario dell'American Physical Society su *Review of Modern Physics*, Vol. 71, S336(1999).

Emanuele Rimini

P. Milani and S. Iannotta

Cluster Beam Synthesis of Nanostructured Materials.

Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1999; pp. VIII + 190

I materiali strutturati sulla scala dei nanometri ottenuti mediante l'assemblaggio di *cluster* atomici o molecolari costituiscono una delle più seducenti prospettive per la scienza dei materiali del XXI secolo.

Nel processo di sintesi i mattoni costituenti non sono gli atomi o le molecole ma i loro *cluster*, eventualmente preselezionati in dimensione e struttura. La presenza nel solido di una sottostruttura organizzata quali sono i *cluster* aggiunge al materiale una gamma vastissima di proprietà e funzioni che non si possono facilmente realizzare nei solidi ordinari. Infatti i *cluster*, a causa della loro ridotta dimensionalità, possono avere molte proprietà che nel corrispondente solido tridimensionale sono frustrate dalla simmetria traslazionale. Esempi noti sono le nanoparticelle di silicio che possono essere fotoluminescenti mentre il cristallo esteso non lo è, oppure certi metalli nobili che in forma di nanoparticelle sviluppano proprietà catalitiche nelle ossidazioni. L'idea del *cluster-assembling* è quella di preservare le proprietà funzionali dei *cluster* in materiali tridimensionali estesi quali servono per le applicazioni tecnologiche. Poiché i *cluster* offrono una gamma assai più vasta della tavola di Mendeleev per gli atomi, in virtù della loro pressoché infinita variabilità di composizione, forma e dimensione, è naturale aspettarsi dalla manipolazione delle nanostrutture una nuova era per la scienza dei materiali.

La Springer, sempre attenta alle novità scientifiche che abbiano solide radici e prospettive, ha tempestivamente inaugurato una nuova serie dedicata alla *Cluster Physics*, ed è motivo di grande soddisfazione che il primo volume della serie sia questo libro di Paolo Milani (INFN, Università di Milano) e

Salvatore Iannotta (CNR, Trento) dedicato alla sintesi di materiali nanostrutturati mediante la deposizione da fasci di *cluster*. Il libro costituisce, in un certo senso, il «documento programmatico» della nuova serie della Springer, e dà sanzione a un nuovo settore di ricerca a ponte tra la fisica fondamentale e inusitate applicazioni tecnologiche.

Il libro, dopo una breve capitolino introduttivo, descrive (Cap. 2) in modo sufficientemente didattico la natura e le tecniche di realizzazione dei fasci molecolari e la nucleazione dei *cluster* nei fasci, siano essi ordinari (cioè puramente effusivi) o supersonici. Nel Cap. 3 sono illustrate la costituzione e la fisica delle diverse sorgenti di *cluster*. Il Cap. 4 è dedicato alla caratterizzazione e manipolazione dei fasci di *cluster*, con particolare riferimento alla loro rivelazione e spettroscopia di massa, e alla selezione e manipolazione dei *cluster*. Con queste ultime operazioni sul fascio si passa, nel Cap. 5, al processo di deposizione e assemblaggio dei *cluster* sul substrato, alla crescita del film nanostrutturato e sue eventuali modificazioni indotte ad arte in funzione dell'energia di deposizione.

Il sesto, e conclusivo, capitolo sintetizza i raggiungimenti possibili della tecnica e le prospettive future per quanto concerne il trattamento superficiale mediante fasci di *cluster* e la sintesi controllata di materiali nanostrutturati con proprietà e funzioni volute. Il libro è corredato di una vasta bibliografia (per quanto vasta possa essere in un settore così nuovo) e di un'utilissima appendice sulle proprietà degli elementi e alcuni ossidi ai fini della progettazione di sorgenti di *cluster* e/o relativi *targets*.

La posizione del libro in testa alla collana giustifica il titolo che esprime più il futuro che il presente, più l'obiettivo della trattazione che non la trattazione stessa. La strada sperimentale verso la sintesi di nuovi materiali da assemblaggio di *cluster* è di per sé molto complessa, e c'era assolutamente bisogno di un libro che accompagni su questa strada chiunque voglia intraprendere questa nuova tecnica, sia per ricerca che per le possibili applicazioni industriali. Molto spazio è stato dedicato ai fasci supersonici, con i quali i due autori lavorano attualmente sul fronte più avanzato della ricerca e dai quali ci si aspettano i maggiori risultati nel prossimo futuro. Va però detto che gli autori si sono giustamente trattenuti dal presentarci l'ampio spettro dei *work in progress* e si sono focalizzati su quanto vi è attualmente di consolidato. Un cenno viene comunque dato, nel Cap. 5, anche all'importante apporto della teoria statistica e simulazione numerica, sia classica che quantistica, alla comprensione dei processi di assemblaggio e crescita, sebbene questo sia

uno dei settori in più rapido sviluppo. La teoria ha contribuito a scoprire le leggi di crescita frattale dei film e a recuperare un certo livello di determinismo e riproducibilità in sistemi molto complessi e apparentemente «sporchi». Per questo suona molto bene, in testa alla prefazione, la citazione di Valéry: *On appelle Science l'ensemble des recettes qui réussissent toujours, et tout le reste est littérature*. Non c'è dubbio che la realizzazione di nuovi materiali nanostrutturati oggi non è più alchimia ingegneristica ma una solidissima branca della fisica.

G. Benedek

**H. V. Klapdor-Kleingrot-
haus and K. Zuber**

Particle Astrophysics. Revised Edition.

IOP Publishing Ltd., Bristol and Philadelphia, 2000; pp. XIII + 507; £ 34.99

«*Particle Astrophysics*» è un campo della fisica in rapido sviluppo che accomuna temi di astrofisica/cosmologia e temi di fisica nucleare delle particelle.

Infatti negli ultimi decenni i due settori hanno trovato sempre più punti di contatto ed aree di reciproco interesse.

Ad esempio la tradizionale osservazione astronomica della radiazione elettromagnetica dalle bande radio sino a quelle attorno al visibile si è estesa ai raggi X e ai raggi gamma. In particolare l'osservazione di *bursts* di raggi gamma costituisce uno dei problemi di più grande attualità. Tecniche sviluppate presso gli acceleratori di particelle vengono ora impiegate per la rivelazione di raggi gamma sia nello spazio (su palloni sonda, satelliti, navette spaziali) come nei grandi *arrays* di rivelatori a terra.

Anche lo studio dei raggi cosmici (composizione dei primari, occorrenza di eventi di altissima energia inspiegabili con i conosciuti processi di accelerazione) viene condotto sia a terra che nello spazio (ivi in particolare per la ricerca di antimateria).

Un altro problema centrale è quello della *dark matter*, messo in rilievo da osservazioni astronomiche ma tuttora in attesa di una conferma tramite la rivelazione diretta dei possibili candidati (neutrini pesanti, assioni, particelle supersimmetriche, Wimp's, ...).

I neutrini di per sé offrono più di un campo di indagine, dallo studio della lo-

ro natura tramite le misure di oscillazioni e del decadimento doppio beta, alla rivelazione di quelli emessi nelle esplosioni delle supernovae. Sono inoltre già allo studio grandi rivelatori che in prospettiva costituiranno i primi strumenti della cosiddetta astronomia neutrinica che offrirà ulteriori uniche opportunità nell'indagine degli oggetti celesti.

Lo sviluppo delle teorie di campo che prevedono ad altissime energie l'unificazione dei differenti tipi di interazione tra particelle (teorie grandificate, GUT, le cui implicazioni come il *proton decay* sono tuttora oggetto di indagine) sono ingredienti fondamentali dei modelli inflazionari che descrivono i primi istanti dell'universo dopo il *big bang*.

Di tutte queste tematiche e di altre connesse questo volume fornisce una eccellente ed esauriente rassegna.

Dopo un primo capitolo introduttivo di riepilogo del modello standard di Weinberg e Salam i successivi capitoli trattano nell'ordine: le teorie GUT ($SU(5)$, $SO(10)$, supersimmetria), i modelli cosmologici, l'evoluzione dell'universo e la teoria dell'inflazione; la nucleosintesi primordiale e l'abbondanza degli elementi; la questione della costante cosmologica; la formazione di strutture nell'universo; la radiazione cosmica di fondo a 3 kelvin; i raggi cosmici (spettro, sorgenti, astronomia X e gamma), la dark matter (evidenza, possibili candidati, ricerche dirette); proprietà e ricerche di particelle esotiche previste dalle teorie (monopoli e assioni); i neutrini solari (rassegna dei risultati sperimentali, possibili interpretazioni, future iniziative); le supernovae (modelli di collasso e esplosione e dell'emissione di neutrini, le osservazioni della SN1987A) e infine la sintesi degli elementi pesanti oltre il ferro.

Si tratta di un testo molto denso e ricco di informazioni; con una vasta presentazione sia di aspetti teorico/fenomenologici che di misure, esperimenti e futuri progetti; completato da numerose figure, foto, grafici e un'estesa bibliografia.

L'esposizione è spesso concisa e presuppone nel lettore già delle buone basi (modello standard, relatività generale, ...); a volte vengono citati dei lavori riportandone soltanto formule e conclusioni finali senza entrare in maggiori dettagli.

La trattazione arriva sino ai più recenti sviluppi teorico/sperimentali (il volume è aggiornato sino a circa la seconda metà degli anni 90); tuttavia l'obiettivo di fornire un panorama molto ampio ed aggiornato va talora a detrimento di un'esposizione più lineare e didascalica di alcuni importanti argomenti.

G. Capon

G. Grosso e G. Pastori-Parravicini

Solid State Physics.

Academic Press, London, 2000; pp. 727

La fisica dello stato solido è un campo di ricerca tanto ampio e con tante diverse ramificazioni e applicazioni che è ormai più agevole scrivere un libro su un suo aspetto particolare che non un testo generale che necessariamente assume un carattere enciclopedico. Tuttavia, è sempre essenziale per studenti e ricercatori disporre di un testo di base dal quale attingere i concetti fondamentali in vista delle applicazioni alle problematiche varie e complesse della fisica dei solidi o della scienza dei materiali.

Il nuovo libro di Giuseppe Grosso e Giuseppe Pastori Parravicini soddisfa pienamente questa esigenza e si colloca nella tradizione dei classici testi di Rudolph Peierls del 1955 e di John Ziman del 1969.

Gli argomenti sono presentati in un modo chiaramente concettuale e il lettore è guidato passo passo nel difficile cammino che, partendo dalle più elementari applicazioni della Meccanica Quantistica ai sistemi con periodicità spaziale, conduce ai confini della ricerca attuale, senza mai perdere di vista l'elemento comune che è il sistema di molti elettroni e nuclei interagenti e la simmetria cristallina.

Caratteristica precipua di questo libro, che certamente gli varrà il geloso affetto che si riserva ai testi che veramente insegnano il mestiere di fisico ricercatore e ai quali si rimane legati per tutta la vita, è di essere a un tempo *self contained*, cioè di spiegare tutto in dettaglio, e *comprehensive* cioè esaustivo al massimo grado possibile.

Come la personalità scientifica degli autori suggerisce, l'approccio è chiaramente teorico, con il necessario ampio bagaglio matematico; non mancano, tuttavia, numerose esemplificazioni di risultati sperimentali, presentate in molte delle quasi trecento figure, con precise e utili indicazioni bibliografiche.

Il testo inizia con tre capitoli di carattere propedeutico che contengono la descrizione dei reticoli cristallini diretti e reciproci, le applicazioni dell'equazione di Schrödinger ai sistemi periodici unidimensionali (potenziali di Kronig e Penney e di Mathieu) da cui prese avvio il concetto di bande di energia, e le conseguenze immediate della distribuzione statistica degli elettroni nei metalli (teoria di Sommerfeld dei calori specifici, emissione termica). Vale la pena osservare che in questi capitoli introduttivi vengono discusse e spiegate anche le distribuzioni statistiche e già si introducono

concetti avanzati, quali il metodo delle funzioni di Green e delle frazioni continue, le oscillazioni di Bloch e le quantizzazioni discrete di Stark-Wannier in presenza di un campo elettrico.

Ai capitoli iniziali fa seguito una parte del libro contenente un'ampia discussione della teoria dei livelli elettronici nei cristalli, con una descrizione dettagliata dei diversi metodi di calcolo, incluso quello a pseudopotenziale e il principio del funzionale densità con la dimostrazione del teorema di Hohenberg e Kohn.

Vengono riportate esemplificazioni al caso di isolanti e metalli, e descrizioni di superfici di Fermi.

Segue poi una parte del libro che illustra conseguenze generali delle interazioni tra gli elettroni, che erano state trascurate nell'approssimazione di Hartree-Fock e del campo medio; gli eccitoni, i plasmoni, la funzione di schermo dei potenziali elettrici (regole di Friedel e teorema di Fumi nei metalli). Quindi, la descrizione dei potenziali per il moto dei nuclei, la dinamica reticolare con i modi vibrazionali e i fononi, le interazioni tra elettroni e fononi con l'effetto Jahn Teller e la fase di Berry.

Dopo i primi nove capitoli di base sugli stati energetici, si affrontano fenomeni fisici di carattere generale; la diffusione di luce e particelle da parte dei cristalli, le proprietà ottiche e di trasporto, gli stati localizzati e gli effetti vibronici. Da segnalare la derivazione delle probabilità di eccitazioni ottiche con assorbimenti a più fotoni, che generalmente è lasciata ai testi di meccanica quantistica, ma qui è presentata nello spirito di completezza che informa l'opera.

Gli ultimi capitoli contengono ampie esposizioni di argomenti specifici: due capitoli sui semiconduttori, tre sugli effetti del campo magnetico e dell'ordine magnetico (ferromagnetismo, onde di spin, modello di Ising, effetto Kondo) e un ampio capitolo finale sulla superconduttività (coppie di Cooper, teoria B.C.S., effetti tunnel e giunzioni Josephson).

Il giudizio complessivo su un trattato tanto imponente, per l'ampiezza del materiale compiutamente esposto e per la coerenza logico-deduttiva della presentazione, è estremamente positivo. È un'opera monumentale che desta ammirazione e che pochi al mondo avrebbero saputo compiere in questi tempi di estrema specializzazione.

Il testo in molte sue parti è anche difficile, e forse non è il più adatto per una prima lettura di fisica dello stato solido, ma non può mancare al bagaglio culturale di chi si vuole dedicare alla ricerca in questo campo o in settori affini.

È facile anticipare che questo libro è destinato a diventare il testo di riferimento di base del prossimo decennio, come lo furono e per molti aspetti ancora lo sono, i classici testi di F. Seitz, C. Kittel, R. Peierls e J. Ziman.

Franco Bassani

SCELTI PER VOI

a cura di S. Focardi

MICROBOMBE

La sicurezza dei viaggiatori dagli attacchi dei terroristi è affidata negli aeroporti a sistemi di scarsa efficacia. Infatti esistono essenzialmente due modi consistenti nel fare ricorso all'olfatto di cani opportunamente addestrati oppure a rivelatori che non sono sufficientemente rapidi per garantirne l'efficienza a fronte di una grande quantità di bagagli da controllare in breve tempo. Entrambi i sistemi hanno lo svantaggio non indifferente di essere costosi. L'addestramento di un cane richiede una ventina di milioni cui vanno aggiunti i costi di gestione del cane e di chi lo accompagna, i rivelatori costano oltre trecento milioni. La ricerca degli esplosivi assume ancora più importanza per il ritrovamento delle mine disseminate nei vari campi di battaglia. Si stima che tali ordigni siano cento milioni e che, ai ritmi attuali, solo per sminare l'Afghanistan occorrerebbero 4000 anni. Ciò che rende ancor più tragica la situazione che può solo aggravarsi è la differenza di costo fra le 6000 lire di un ordigno e i due milioni che occorrono per sbarazzarsene.

Per gli aspetti umanitari, ma anche dal punto di vista tecnologico appare quindi interessante la ricerca in corso a Oak Ridge che si basa sulla possibilità di rivelare la presenza di tritolo con una microesplosione che coinvolge solo alcune molecole, dimostrando che nelle vicinanze ce ne sono molte altre.

Il rivelatore si basa anzitutto sul fatto che alcune molecole fuoriescono dal contenitore per quanto esso sia sigillato. Il sistema aspira quindi aria facendola passare sopra una minuscola leva a sbalzo la cui estremità è mantenuta ad una temperatura attorno ai 600 °C. Le molecole di tritolo a questa temperatura si spezzano provocando una perturbazione della leva che si traduce in una oscillazione transitoria.

Questa viene rivelata dallo spostamento di un fascio laser che viene riflesso dall'estremo della leva e va a colpire un diodo diverso da quello normalmente investito. Il sistema è in grado di rivelare fino a qualche molecola per milione di molecole di aria. Gli autori stimano di poter installare un prototipo entro tre anni all'aeroporto di Oak Ridge.

New Scientist, 2242, 10-6-2000, p. 36

IL RISCALDAMENTO DEGLI OCEANI

Coloro che non si fidano dei modelli che prevedono il riscaldamento del pianeta, dovuto all'effetto serra, fanno notare che gli aumenti di temperatura effettivi sono minori di quelli previsti. Gli autori dei modelli replicano dicendo che buona parte del calore potrebbe essere finito negli oceani. Gli studiosi di oceanografia finora non erano stati in grado di prendere posizione nella disputa, perché i dati a loro disposizione non erano mai stati elaborati in modo sistematico. Essendo mancata, nel campo dell'oceanografia una iniziativa mondiale per la elaborazione delle misure effettuate, i risultati delle misurazioni erano rimasti al livello della semplice registrazione. Ora un progetto mondiale ha permesso di ottenere nuovi dati, di aggiungere ad essi i risultati di precedenti misurazioni e costruire in funzione del tempo, per il periodo dal 1945 al 1995 l'andamento della quantità di calore contenuta negli oceani. Sommando i contributi di tutti gli oceani, che peraltro mostrano andamenti temporali dello stesso tipo, è risultato che in questo periodo il calore immagazzinato ammonta a 2×10^{23} joules, più o meno la quantità che viene scambiata ogni anno per effetti stagionali. Metà del calore è immagazzinata nei primi 300 metri di profondità, l'altra metà da 300 a 3000 metri. L'aumento medio di temperatura fino ai 3000 metri è 0,06 °C.

L'aumento non è stazionario: la distribuzione sperimentale mostra un minimo alla fine degli anni 50, un massimo verso il 1980 e, dopo una discesa un secondo massimo alla metà degli anni 90.

Il calore immagazzinato negli oceani equivale alle previsioni dei modelli climatici. Il comportamento degli oceani introduce quindi un ritardo nel riscaldamento delle superfici.

Science, 287, 5461, 24 marzo 2000, pp. 2126 e 2225

VI SERVE UNA MANO?

Per ora non possiamo fare niente, ma alcuni gruppi di ricercatori pensano

che un giorno, non sappiamo quanto lontano, si possa fare ricrescere una mano o un piede amputati a seguito di incidente o per una grave infermità. In fondo gli anfibi sono capaci di ricostruire parti del loro corpo che sono state staccate. Si tratta di capire quali sono le differenze importanti fra anfibi e mammiferi. Si ritiene oggi che la cicatrizzazione delle ferite e la rigenerazione siano due processi competitivi e che nel genere umano il primo abbia il sopravvento sul secondo. Un'altra importante informazione è che gli animali capaci di rigenerarsi hanno sistemi immunitari relativamente primitivi. Anche gli embrioni dei mammiferi non hanno un sistema immunitario pienamente sviluppato.

L'idea di fondo appare quindi quella di rallentare i processi di cicatrizzazione delle ferite a vantaggio della rigenerazione. Il processo sembra funzionare nei topi, come è stato scoperto casualmente essendosi riformato il tessuto in animali con sistema immunitario reso poco efficiente.

Studiando le differenze dei sistemi immunitari fra adulti e embrioni, si è trovato che gli embrioni hanno livelli più bassi di due fattori di crescita TGFβ1 e TGFβ2 e livelli più alti di TGFβ3.

Alterando i livelli di questi tre fattori in topi e in maiali si è trovato che gli animali guariscono senza cicatrizzare, una indicazione di una ricostruzione del tessuto.

Ovviamente la strada da percorrere si presenta irta di difficoltà e per certi aspetti anche di rischi. Uno di questi è che l'incoraggiamento dato alle cellule affinché proliferino potrebbe scatenare il cancro.

D'altra parte, sembra che gli animali in grado di rigenerare parti di se stessi siano invece particolarmente immuni al cancro. La seconda difficoltà consiste nella notevole differenza che esiste fra un arto che cresce da un embrione, in cui le molecole che controllano la crescita hanno piccole distanze da percorrere, e un analogo processo in un essere adulto. In conclusione, siamo dispiaciuti. Per ora vi abbiamo dato solo una illusione, non ancora una mano!

New Scientist, 2251, 12 agosto 2000, p. 34

ANNUNCI



Associazione per l'Insegnamento della Fisica

XXXIX CONGRESSO NAZIONALE

25-28 OTTOBRE 2000

**La Fisica a scuola:
esperienze passate,
prospettive future**

Hotel EOLIAN INN Milazzo
(Messina)

A.I.F. c/o I.P.S.I.A. "Leonardo da Vinci"
Strada Circonvallazione sud 55/d - 46100 Mantova
Tel. 0376 262024

Museo Nazionale degli Strumenti per il calcolo

Dipartimento di Fisica - Università di Pisa



Computo, ergo sum

viaggio nella storia del calcolo automatico

*dal 16 Settembre
al 15 Dicembre 2000*

Gli strumenti che hanno segnato la storia del calcolo saranno protagonisti della mostra *Computo, ergo sum*, viaggio nella storia del calcolo automatico, allestita nella sede che ospiterà il nostro museo, che sarà inaugurata il 16 settembre prossimo e che rimarrà aperta fino alla metà di dicembre. Circa una sessantina gli esemplari in mostra: si passa dai compassi e dai regoli del XVII secolo, attraverso abaci e addizionatrici, alle prime calcolatrici e ai personal computer. Per quanto riguarda il calcolo meccanico, tra i pezzi più prestigiosi saranno esposti l'arithmomètre Thomas, che è un antico esemplio di macchina calcolatrice del 1850, e l'addizionatrice Burroughs del 1895, scelti tra più di 180 esemplari della nostra collezione di macchine antiche, cui si affianca una notevole raccolta di casse registratrici.

Per ulteriori informazioni:

<http://www.df.unipi.it/museo/>

ISTITUTO NAZIONALE PER LO STUDIO E LA CURA DEI TUMORI - MILANO

Seminario n. 6

L'Ottica Biomedica nella Diagnosi e Terapia dei Tumori
Biomedical Optics in the Diagnosis and Therapy of Tumors

Milano, 29 Settembre 2000

Coordinatori:
R. Marchesini, P. Spinelli

ulteriori informazioni:

Sig.ra Maria Onorato o Sig.ra Rosalba Terulla
Ufficio Attività Didattiche
Istituto Nazionale Tumori - Via G. Venezian, 1
20133 milano MI
Tel.: 02/2363764
Fax: 02/2390685

70



INTERNATIONAL CONFERENCE ON

**OCULAR
PATHOLOGIES THERAPY
WITH
PROTON BEAMS**

12 - 13 October 2000
Laboratori Nazionali del Sud - INFN
CATANIA, Italy



for further information:
ISE - c/o Collegio De Filippi
Piazza S. Carlo 1 - 28041 Arona (NO)
tel. +39 0322 24 97 00
fax +39 0322 24 08 00
e-mail: ise@tera.it



POLITECNICO DI MILANO



Centro per la Formazione Permanente
nell'ambito del progetto POLIEDRA

1999
2000

III° Corso di aggiornamento

**Tecniche innovative
per la valutazione
dell'affidabilità e
disponibilità di
impianti industriali**

Milano, 16-20 Ottobre 2000

Direttore del corso: Prof. Marzio Marseguerra
Coordinatore: Prof. Marzio Marseguerra
Segretario: Dr. Enrico Zio

ulteriori informazioni:

indirizzo: Dipartimento di Ingegneria Nucleare
Politecnico di Milano, Via Ponzio 34/3, 20133 Milano
tel: 02 2399 6340
fax: 02 2399 6309
e-mail: enrico.zio@polimi.it



Academy of Sciences of the Czech Republic
Nuclear Physics Institute, Řež

**Particle Accelerators for Medicine
and Industry**

Congress and Educational Centre
Průhonice, Czech Republic
9-17 May 2001



Institute for Accelerating Systems
and Applications, Athens

Introduction to Accelerator Physics

Poseidon Hotel, Loutraki, Greece
2-13 October 2000

For further information:
CERN accelerator school
AC Division
CH-1211 Geneva 23 - Switzerland
Fax ++41 22 767 5460
web <http://www.cern.ch/Schools/CAS/>
e-mail: Suzanne.von.Wartburg@cern.ch



***International Conference on
New Technologies in
Science Education***

Aveiro, Portugal July 4 - 6, 2001

Organized by

Universidade de Aveiro
Universidad de Castilla-La Mancha

In cooperation with

Sociedade Portuguesa de Matemática (SPM)

for further information:

Secretariado do CINTEC
Universidade de Aveiro
Departamento de Matemática
Campus de Santiago 3910-193
Aveiro, PORTUGAL

Tel: +351 234 370359
Fax: +351 234 382014
E-mail: cintec@mat.ua.pt
<http://www.mat.ua.pt/cintec>



ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL

Bando di Concorso per n. 1 premio per tesi di laurea in Storia della Fisica

Art. 1 — L'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL istituisce, per il 2000, un premio di lit. 3 milioni, al fine di promuovere la preparazione di tesi di laurea in Storia della Fisica moderna e contemporanea, che si avvalgano dell'«**Archive for History of Quantum Physics**» — presso l'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL.

Art. 2 — Possono partecipare al concorso i cittadini italiani e stranieri laureati presso le Università italiane.

Art. 3 — Le domande con le tesi, corredate da un *curriculum vitae* dettagliato, vanno inviate per raccomandata all'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, **entro il 31 gennaio 2001**, al seguente indirizzo: Villino Rosso - Via Siracusa, 1 (angolo Via Spallanzani) - 00161 Roma.

Art. 4 — La Commissione esaminatrice sarà composta da 3 membri, designati dal Presidente dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Il giudizio della Commissione è insindacabile.

Art. 5 — Il premio verrà conferito a Roma in occasione dell'inaugurazione dell'Anno Accademico, la cui data sarà comunicata con adeguato preavviso.

G.T. Scarascia Mugnozza

Presidente

Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL