

ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE

ANNO 50 NOVEMBRE-DICEMBRE 2004

Il contenuto degli articoli pubblicati è di esclusiva responsabilità degli autori. La riproduzione di articoli o parte di essi deve essere autorizzata dall'ENEA.

Finito di stampare nel mese di dicembre 2004

The ENEA logo consists of the word "ENEA" in a bold, sans-serif font. The letters are white with a black outline, and they are set against a dark grey rectangular background. The logo is positioned on the left side of the page, below the large background text.

Direttore responsabile Sergio Ferrari

Comitato di redazione Maria Antonietta Biancifiori, Fausto Borrelli, Vincenzo Di Majo, Marco Martini, Antonio Nobili, Vito Pignatelli, Emilio Santoro, Franco Vivoli

Redattore capo Alida La Croce

Redazione Giuliano Ghisu

Collaboratori Daniela Bertuzzi, Gabriella Martini, Paolo Monaci, Elisabetta Pasta

Responsabile editoriale Diana Savelli

Redazione ENEA

Lungotevere Thaon di Revel 76, 00196 Roma, Tel. 06-36272401, Fax 06-36272720
E-mail/lacroced@sede.enea.it, Sito web/www.enea.it

Progetto grafico Bruno Giovannetti

Ada Cerrato, Nicoletta Troncon

In copertina Riproduzione *Deposizione*, E Guglielminetti

Stampa Tipografia Primaprint, Via dell'Industria n. 71, 01100 Viterbo

Registrazione Tribunale Civile di Roma

Numero 6047 del 2 dicembre 1957 del Registro Stampa. Modifiche in corso

Pubblicità Primaprint di S. Badini e M. Greto s.n.c.

Abbonamento annuale Italia € 21,00, Estero € 26,00; una copia € 4,20

C.C.P. n. 59829580 intestato a Primaprint di S. Badini e M. Greto s.n.c.

Via dell'Industria, 71 - 01100 Viterbo - Tel. 0761-353676 - Fax 0761-270097

e-mail: info@primaprint.it

www.enea.it

4

UNA OPZIONE PER RIDURRE LE EMISSIONI
AN OPTION FOR REDUCING EMISSION

PRIMO PIANO

L'idea di sequestrare la CO₂ raccoglie molti entusiasmi anche se altri la considerano una procedura assai controversa. Il fascino che suscita l'idea di tali progetti risiede principalmente nel fatto che se potesse diventare praticabile potrebbero essere superati i vincoli del Protocollo di Kyoto senza che la CO₂ continui ad essere la principale causa del riscaldamento del Pianeta

Sequestering CO₂ is an idea that has been greeted enthusiastically by many people, though many others consider the procedure controversial. The attractiveness of the idea lies mainly in the fact that if it becomes viable, the Kyoto Protocol restrictions could become irrelevant, without CO₂ continuing to be the chief cause of global warming

8

L'ITALIA NELLA COMPETIZIONE TECNOLOGICA INTERNAZIONALE
ITALY IN INTERNATIONAL TECHNOLOGICAL COMPETITION

SPAZIO APERTO

Daniela Palma

Dal IV Rapporto dell'Osservatorio ENEA, del quale pubblichiamo una sintesi, emerge per il nostro Paese un deficit crescente nei settori ad alta tecnologia con le grandi aree economico-industriali, che suggerisce approcci innovativi e complessi

The ENEA Observatory's 4th Report, of which we publish a summary, shows that Italy has a growing deficit in the high-tech sectors vis-à-vis the world's major industrial countries, and calls for complex, innovative approaches to make up the gap

29

NUOVI SCENARI PER IL CALCOLO AD ALTE PRESTAZIONI
NEW SCENARIOS FOR HIGH PERFORMANCE COMPUTING

STUDI & RICERCHE

Vittorio Rosato, Paolo Palazzari, Alessandro Marongiu

La modellistica dei sistemi complessi continua a definire nuovi oggetti di studio e l'informatica avanzata dovrà sostenerne l'impatto. Le architetture dedicate, con l'utilizzo di logiche programmabili, sono le architetture delle piattaforme di calcolo che meglio potranno far fronte a queste nuove sfide

Complex-system modelling continues to define new subjects for study, and advanced information science will have to bear the impact. Dedicated architectures, with the use of programmable logics, are those of the computing platforms that will deal best with these new challenges

48

IL CAMMINO DELLA WEB ACCESSIBILITY
THE PROGRESS OF WEB ACCESSIBILITY

Laura Massoli, Serena Lucibello

Progettare un sito tenendo conto delle necessità di utenti disabili alla fine si riflette in un miglioramento generale nell'utilizzo per tutti

Website designs that account of the needs of marginal users ultimately improves site usability for everyone

59

BIOSENSORI ELETTROCHIMICI A INIBIZIONE BASATI SU MOLECOLE E CELLULE RICOMBINANTI
INHIBITING ELECTROCHEMICAL BIOSENSORS BASED ON RECOMBINING CELLS AND MOLECULES

Walter Vastarella, Jan Maly, Amedeo Masci, Maria Rita Montereali, Livia Della Seta, Bruno Lanza, Carlo Cremisini, Roberto Pilloton

L'impiego di biosensori permette di ridurre i tempi e i costi delle analisi ambientali. Altri possibili campi di applicazione sono la diagnostica clinica e alimentare. Per ottenere biosensori elettrochimici, biomolecole o cellule geneticamente modificate sono state immobilizzate su elettrodi stampati. Nell'articolo sono riportati esempi applicativi per l'analisi ambientale: la rivelazione dei fenoli negli scarichi industriali, la rivelazione di composti organofosforici, l'identificazione di erbicidi triazinici

Biosensors make it possible to shorten the time and lower the cost of environmental analyses. Other possible fields of application include medical diagnostics and food analysis. To obtain electrochemical biosensors, genetically modified biomolecules or cells were immobilised on printed electrodes. The article describes examples of applications in environmental analysis: detection of phenols in industrial waste, detection of organophosphorus compounds, and the identification of triazine herbicides

77

**MESSAGGIO DI GIOVANNI PAOLO II AL VESCOVO DI RIMINI
MONSIGNOR MARIANO DE NICOLÒ, IN OCCASIONE DELLA XXV
EDIZIONE DEL "MEETING PER L'AMICIZIA TRA I POPOLI"**

MESSAGE FROM POPE JOHN PAUL II TO THE BISHOP OF RIMINI, MGR. MARIANO DE NICOLÒ, ON THE OCCASION OF THE 25TH MEETING FOR FRIENDSHIP AMONG PEOPLES

Il progresso delle conoscenze scientifiche e dei mezzi tecnici a disposizione dell'uomo spinge di fatto sempre più in là il confine fra ciò che è possibile fare e ciò che ancora non è possibile

The progress of scientific knowledge and of the technical means available to humans pushes farther and farther out the boundary between what is possible and what is not yet possible to do

NOTE TECNICHE

79

**BIOMONITORAGGIO DI METALLI PESANTI IN AMBIENTE URBANO ATTRAVERSO
PIANTE ERBACEE RUDERALI**

USING GRASSY PLANTS TO BIOMONITOR HEAVY METALS IN AN URBAN ENVIRONMENT

*Loris Pietrelli, Stefano Ciferri, Patrizia Menegoni, Tiziana Farneti,
Francesco Modestia, Antonio Saluzzo*

82

SILICIO E PROTEINE S'INCONTRANO NUOVAMENTE ALL'ENEA

SILICON AND PROTEINS MEET AGAIN AT ENEA

Roberto Pilloton, Franco Mazzei

85

**MISURA DI COMPOSTI ALOGENATI IN ATMOSFERA MEDIANTE GAS-CROMA-
TOGRAFIA E SPETTROMETRIA DI MASSA (GC-MS)**

MEASUREMENT OF HALOGEN COMPOUNDS IN AIR VIA GAS CHROMATOGRAPHY AND MASS SPECTROMETRY (GC+MS)

Florinda Artuso, Mauro Chamard

CRONACHE

89

**NOTIZIE DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA, DALL'ENEA.
INCONTRI E LETTURE**

NEWS FROM THE WORLD, THE EUROPEAN UNION, ITALY AND ENEA. INFORMATION ABOUT MEETINGS AND RECENTLY PUBLISHED WORKS

- dal Mondo
- World Energy Outlook 2004 **89**
 - Accordo italo-cinese sull'idrogeno **89**
 - La Russia ha ratificato il Protocollo di Kyoto **89**

- dall'Unione Europea
- Nuovi sistemi solari termici **90**
 - Il CERN ha 50 anni **90**
 - Progetto Anvimar **90**

- dall'Italia
- Al via lo scambio di quote di emissione **91**
 - Importante gasdotto Italia-Libia **91**
 - Nuovo impianto eolico in Sardegna **91**
 - In preparazione la XV Settimana della Cultura S&T **91**
 - Rapporto ENEA Energia e Ambiente 2004 **91**

- dall'ENEA
- Prove componenti per LHC **93**
 - Programma sul clima a Lampedusa **93**
 - Mobilità a idrogeno **93**

- Incontri
- Ricerca è sviluppo **94**
 - Salvaguardia da elettrosmog **94**

- Letture
- Geologia ambientale: principi e metodi **95**
 - Living Planet Report 2004 **95**
 - Le nuove fonti di energia rinnovabile **96**

Una **opzione** per ridurre le **emissioni**

CARBON SEQUESTRATION
LEADERSHIP FORUM (CSLF)

primo piano

L'idea di sequestrare la CO₂ raccoglie molti entusiasmi anche se altri la considerano una procedura assai controversa. Il fascino che suscita l'idea di tali progetti risiede principalmente nel fatto che se potesse diventare praticabile potrebbero essere superati i vincoli del Protocollo di Kyoto senza che la CO₂ continui ad essere la principale causa del riscaldamento del Pianeta

An **option** for reducing **emissions**

Sequestering CO₂ is an idea that has been greeted enthusiastically by many people, though many others consider the procedure controversial.

The attractiveness of the idea lies mainly in the fact that if it becomes viable, the Kyoto Protocol restrictions could become irrelevant, without CO₂ continuing to be the chief cause of global warming

Dal 13 al 15 settembre 2004 si è svolto a Melbourne il secondo incontro ministeriale dei paesi, fra i quali l'Italia, che aderiscono al Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF). Il Forum è un'iniziativa internazionale nell'ambito delle attività sui cambiamenti climatici e punta a promuovere lo sviluppo di tecnologie in grado di prelevare l'anidride carbonica prodotta dalle attività umane per stoccarla a lungo termine, confinandola in siti geologici, spesso sul fondo degli oceani o al disotto dei fondali marini.

La delegazione italiana, è stata guidata dal Direttore Generale per l'Energia e le risorse minerarie del Ministero delle Attività Produttive, Sergio Garribba, ed era composta da: Alessandro Clerici (Presidente Onorario WEC Italia), Marcello Capra (MAP), Giuseppe Girardi (ENEA), Francesco Zarlenga (ENEA), Carlo Amorino (Sotacarbo), Giuseppe Deriu (Carbosulcis), Ettore Fiana (Carbosulcis), Valentino Romeri (Rsfm), Sergio Persoglia (OGS).

Pubblichiamo il testo integrale del comunicato finale della riunione.

CARBON SEQUESTRATION LEADERSHIP FORUM

Comunicato Ministeriale

Noi, Ministri dei paesi membri del CSLF, riuniti a Melbourne, riaffermiamo il nostro impegno nei confronti del CSLF, quale riferimento per una cooperazione internazionale nella ricerca e nello sviluppo di tecniche per la cattura, il trasporto e l'immagazzinamento dell'anidride carbonica (CO₂). Per quanto consentono di stabilire le previsioni, con ogni probabilità i combustibili fossili continueranno ad essere largamente utilizzati in tutto il mondo. In ragione di ciò, i motivi che hanno stimolato la creazione del CSLF rimangono di vitale importanza per consentire alla cattura, trasporto ed immagazzinamento della CO₂ di diventare una delle opzioni per affrontare la riduzione delle emissioni dei gas ad effetto serra e per promuovere in tutto il mondo uno sviluppo sostenibile. Noi diamo un caldo benvenuto ai tre nuovi membri, Francia, Germania e Sud Africa, che hanno aderito al CSLF dopo l'ultimo incontro ministeriale svoltosi a Tysons Corner, Virginia, USA, lo scorso giugno 2003. Consideriamo la loro adesione come una chiara evidenza del crescente interesse per la cattura, trasporto ed immagazzinamento della CO₂ quale mezzo per ridurre l'emissione dei gas ad effetto serra.

Progetti e progressi tecnici

Apprezziamo e sosteniamo il Piano CSLF di Sviluppo Tecnologico (CSLF Technology Roadmap) sviluppato dal Gruppo Tecnico CSLF (CSFL Technical Group) ed approvato dal Gruppo per la Politica CSLF (CSLF Policy Group). Sebbene il Piano (Roadmap) non vincoli il CSLF o i suoi membri a specifiche azioni, noi lo consideriamo tuttavia un importante documento di riferimento (framework) che può fare da guida alle future collaborazioni tecniche tra i membri del CSLF. Ci aspettiamo che il Piano (Roadmap) evolva con lo sviluppo delle conoscenze e, in rapporto a ciò, anticipiamo che esso dovrà essere rivisto, di tanto in tanto, per riflettere tale sviluppo.

Siamo lieti di dare un formale riconoscimento a dieci progetti proposti dagli Stati membri, che saranno svolti in un quadro di collaborazione. Tali progetti hanno scopi vari ed ampi e ci aspettiamo che facciano progredire le nostre conoscenze in tutte le aree, comprese quella tecnologica, economica, ambientale e della salute. I progetti, nel loro insieme, dimostrano l'ampiezza e varietà delle attività in corso nel mondo e relative alla cattura, il trasporto e l'immagazzinamento della CO₂. Ci si aspetta che essi fissino le basi per nuove e più intense collaborazioni tecniche promosse dal CSLF.

I dieci progetti sono:

- *ARC Enhanced Coal-Bed Methane Recovery Project (Canada, Stati Uniti e Regno Unito) [Recupero*

*i combustibili
fossili
continueranno
ad essere
largamente
utilizzati*

valutare
meglio le
prestazioni, i
costi ed i
benefici di tali
tecnologie

stimolato di metano da giacimenti di carbone]. Scopo del progetto è di valutare, sia dal punto di vista ambientale che economico, il processo di iniezione della CO₂ in un giacimento profondo di carbone. Tale procedimento porta al sequestro della CO₂ ed alla simultanea produzione di metano dal giacimento.

- *CANMET Energy Technology Centre (CETC) R&D Oxyfuel Combustion for CO₂ Capture (Canada e Stati Uniti) [Combustibile ossigenato per la cattura della CO₂]*. L'obiettivo del progetto è quello di verificare l'utilizzo di combustibile ossigenato (oxyfuel) e la conseguente cattura di CO₂ ad elevata purezza da impiegare per il recupero assistito di idrocarburi (EOR). Le informazioni raccolte consentiranno di progettare impianti industriali che utilizzino la stessa tecnica su larga scala.
- *CASTOR (Commissione Europea, Francia e Norvegia)*. Scopo del progetto è di validare, dal punto di vista tecnico, economico, legale e di accettabilità pubblica, le tecniche di cattura della CO₂ dopo la combustione e di immagazzinamento geologico. Enfasi viene data alla riduzione dei costi relativi alla cattura.
- *CO₂ Capture Project, Phase II (Regno Unito, Norvegia, Italia e Stati Uniti) [Cattura della CO₂, Fase II]*. Scopo del progetto è di sviluppare ulteriormente le tecniche per ridurre i costi di separazione, cattura e confinamento geologico della CO₂, agendo sugli elementi del ciclo di combustione dei carburanti, quali turbine, riscaldatori, caldaie.
- *CO₂ Separation from Pressurized Gas Stream (Giappone e Stati Uniti) [Separazione della CO₂ da flussi di gas ad elevata pressione]*. Scopo del progetto è di valutare tecnicamente ed economicamente i procedimenti per la separazione della CO₂, tramite membrane, da flussi di gas ad elevate pressione.
- *CO₂ SINK (Commissione Europea e Germania)*. Scopo del progetto è di verificare e valutare la cattura ed il confinamento geologico della CO₂, in modo da comprenderne meglio le basi scientifiche ed i processi coinvolti. L'esperienza conseguita permetterà di definire un contesto normativo in cui regolare l'immagazzinamento geologico della CO₂.
- *CO₂ STORE (Norvegia e Commissione Europea)*. Scopo del progetto è di affinare la tecnica di osservazione, già dimostrata nel progetto in corso sul giacimento di Sleipner, della CO₂ re-iniettata e di acquisire nuove conoscenze sui processi geochimici e sulla dissoluzione della CO₂.
- *Frio (Stati Uniti ed Australia)*. Il progetto prevede di effettuare il sequestro della CO₂ in un acquifero salino profondo a terra, con l'obiettivo di verificare i modelli concettuali e le tecniche di osservazione, provare che non si producono effetti nocivi per la salute, la sicurezza e l'ambiente, sviluppare l'esperienza necessaria per estendere la tecnica su larga scala.
- *ITC CO₂ Capture with Chemical Solvents (Canada e Stati Uniti) [Cattura della CO₂ tramite solventi chimici]*. Obiettivo del progetto è di dimostrare la cattura della CO₂ tramite solventi chimici, sviluppando tecniche efficaci ed a basso costo per la separazione della CO₂ dai fumi.
- *Weyburn II CO₂ Storage Project (Stati Uniti, Canada e Giappone) [Progetto Weyburn II per l'immagazzinamento geologico della CO₂]*. Obiettivo del progetto è di utilizzare la CO₂ per il recupero stimolato di olio in un giacimento di idrocarburi in Canada. Sarà studiata la migrazione della CO₂ nel giacimento, per valutare complessivamente le prestazioni e gli eventuali rischi connessi con l'utilizzo della CO₂ nel recupero assistito degli idrocarburi.

Noi ci aspettiamo che le conoscenze generate grazie a questi progetti svolti in collaborazione ci consentano di valutare meglio le prestazioni, i costi ed i benefici di tali tecnologie. Notizie dettagliate sui progetti sopra indicati, saranno rese disponibili attraverso il Segretariato CSLF.

Lavoro svolto dal Gruppo (Task Force) per gli aspetti Legali, Regolamentari e Finanziari

Abbiamo avuto modo di esaminare il rapporto “Considerazioni sugli aspetti regolamentari per i progetti di cattura e confinamento della CO₂” redatto dal Gruppo (Task Force) per gli aspetti Legali, Regolamentari e Finanziari. Le considerazioni in esso contenute sono basate sull'esperienza sviluppata in progetti di cattura, trasporto ed immagazzinamento della CO₂ nei paesi in cui tali progetti sono stati svolti. Il rapporto può rappresentare un utile punto di riferimento nello sviluppare leggi, regolamenti e contesti normative per la cattura, il trasporto e l'immagazzinamento della CO₂.

Coinvolgimento dei soggetti interessati (stakeholders) e pubblica consapevolezza (public awareness)

Noi riconosciamo che la cattura, il trasporto e l'immagazzinamento della CO₂ possono coinvolgere molte parti interessate (stakeholders) e che il loro contributo è importante per il successo del CSLF. Diamo importanza ai loro possibili contributi e prendiamo l'impegno di coinvolgerli nei nostri lavori. Siamo altresì convinti della necessità che il CSLF operi in modo aperto e trasparente. In ragione di ciò, accogliamo la proposta del Gruppo per la Politica (Policy Group) di istituire e gestire un registro dei soggetti coinvolti (Stakeholder Engagement Register) e di utilizzare il sito CSLF ed altri appropriati mezzi di comunicazione per sostenere un dialogo bilaterale con tutti i portatori di interesse (stakeholders). Chiediamo, inoltre, al Gruppo per la Politica (Policy Group) di considerare i modi più efficaci per rendere pubblico in modo tempestivo il lavoro svolto dal CSLF.

Le tecniche per la cattura, il trasporto e l'immagazzinamento della CO₂ non sono note nel mondo al grande pubblico. Tuttavia è di vitale importanza che la loro accettazione pubblica sia basata sulla chiara ed accurata comprensione di tutti gli aspetti connessi con tali tecnologie, compresi quelli ambientali e della sicurezza.

L'informazione al pubblico è, dunque, una necessità primaria perché sia accettata la cattura, trasporto ed immagazzinamento dell'anidride carbonica.

Noi chiediamo al Gruppo per la Politica (Policy Group) di esaminare programmi per la diffusione delle tecniche di cattura, trasporto ed immagazzinamento dell'anidride carbonica che facilitino lo scambio di esperienze tra gli Stati membri del CSLF. Tali programmi dovranno avere solide basi scientifiche, tecniche, economiche ed ambientali.

Conclusioni

Le azioni che abbiamo intrapreso oggi danno prova del nostro impegno a raggiungere gli obiettivi indicati nell'atto costitutivo del CSLF. Lavoreremo in stretta collaborazione con i nostri colleghi ministeriali per garantire che il CSLF consegua i suoi scopi.

| | | |
|------------------|-------------------|-------------|
| Australia | Federazione Russa | Messico |
| Brasile | Francia | Norvegia |
| Canada | Germania | Regno Unito |
| Cina | Giappone | Stati Uniti |
| Colombia | India | Sud Africa |
| Comunità Europea | Italia | |

L'informazione al pubblico è una necessità prioritaria

L'Italia nella competizione tecnologica internazionale

DANIELA PALMA
ENEA

Unità di Agenzia per lo Sviluppo
Sostenibile - Advisor



spazio aperto

Dal IV Rapporto dell'Osservatorio ENEA, del quale pubblichiamo una sintesi, emerge per il nostro Paese un deficit crescente nei settori ad alta tecnologia con le grandi aree economico-industriali, che suggerisce approcci innovativi e complessi

Italy in international technological competition

The ENEA Observatory's 4th Report, of which we publish a summary, shows that Italy has a growing deficit in the high-tech sectors vis-à-vis the world's major industrial countries, and calls for complex, innovative approaches to make up the gap

Uscita del Quarto Rapporto dell'Osservatorio sull'Italia nella Competizione Tecnologica Internazionale" (OICTI) avviene in una fase durante la quale ha ripreso vigore il dibattito sui temi dello sviluppo, della competizione internazionale e delle questioni che vanno sotto la generale dizione di società della conoscenza. Tale dibattito coinvolge non solo i, peraltro, mai sopiti interessi degli economisti e degli studiosi, ma anche le questioni di più immediata rilevanza nelle politiche dei singoli paesi e aree geoeconomiche.

Alla base di questa accresciuta attenzione sembra porsi una rinnovata necessità di comprendere il rapporto fra processi di sviluppo e dinamiche del cambiamento tecnologico. Da un lato, infatti, i *trend* di crescita dei maggiori paesi industrializzati, a partire dalla fine degli anni 70, si sono modificati al punto da non presentare più i ritmi sostenuti dei due decenni precedenti. Dall'altro, si è andato affermando un sistema di relazioni a livello internazionale, più esteso e complesso, che ha accentuato il carattere di interdipendenza tra paesi e accresciuto il ruolo delle posizioni di vantaggio competitivo offerte dall'innovazione tecnologica. Si è stabilito in altri termini un "nuovo ordine internazionale", nell'ambito del quale si sono incrementate le opportunità derivanti dalle maggiori conoscenze scientifiche e sono divenuti più articolati i nessi che collegano queste ultime al mondo della produzione e ne "consacrano" la rilevanza tecnologica. La capacità di tradurre il sapere scientifico in innovazione per il sistema economico e sociale, ha sempre più contraddistinto la capacità dei singoli paesi di essere soggetti del "nuovo ordine" e di costruire in questo senso le traiettorie del proprio sviluppo. In questo scenario di "globalizzazione" il ruolo giocato dai singoli paesi è divenuto, dunque, assai più impegnativo.

Nel corso dell'ultimo decennio i tratti del processo di "globalizzazione" si sono ulteriormente rafforzati e intrecciati con le trasformazioni tecnologiche, sollecitando la richiesta non solo di una più chiara visione dei meccanismi che legano sviluppo e cambiamento tecnologico, ma anche di politiche di intervento in grado di sostenere e guidare questi meccanismi. Questa sollecitazione si è tramutata in una vera e propria urgenza allorché nei maggiori paesi industrializzati sono emersi ripetuti e diffusi segnali di stagnazione dell'attività produttiva e sempre più intensa si è fatta l'esposizione alle crisi economiche internazionali.

Il "nuovo corso" dell'economia mondiale ha portato così la riflessione economica a rielaborare il significato dei processi innovativi sottolineandone, in particolare, il carattere "sistemico"^{1,2}. Si è andato così precisando come l'innovazione rechi con sé componenti anche rilevanti di progresso tecnico ma si realizzi con modalità specifiche delle strutture di mercato e del sistema economico nel suo insieme, dispiegandosi lungo direzioni che attraversano le imprese e i prodotti e oltrepassano i confini posti dalle classificazioni settoriali. Il cambiamento economico, d'altra parte, avviene in condizioni di incertezza con soggetti che "evolvono dinamicamente" tramite "meccanismi di apprendimento, ricerca e selezione"³. Nell'ultimo ventennio l'"economia dell'innovazione" è diventata una prospettiva irrinunciabile dell'analisi economica⁴ che sempre più si è tradotta in riferimenti espliciti nell'apparato di valutazione dei sistemi-paese da parte delle maggiori istituzioni internazionali e, infine, nelle agende dei *policy maker*.

Difficile è definire in quale misura e con quali priorità possa oggi essere delineato un "disegno" di *policy* che tenga adeguatamente conto dei mutamenti che l'evolversi dei processi innovativi ha impresso al funzionamento dell'economia con-

tradurre il sapere scientifico in innovazione per il sistema economico e sociale

temporanea. Tuttavia almeno due considerazioni possono essere fatte nel merito.

La prima è che tutta quella parte di riflessione economica che è riuscita a leggere e interpretare il ruolo dell'innovazione nel processo di sviluppo e rispetto al significato più ampio che tale sviluppo può avere, è approdata ad una visione condivisa in cui la crescita è un processo di "interazione sequenziale e cumulativa" tra forze diverse con effetti talora contrapposti e con esiti incerti. Il riaffiorare di riferimenti sempre più netti alla categoria della politica economica è quindi conseguenza di questa analisi dei processi innovativi al di fuori della quale non poche sono state – e sono tuttora – le difficoltà incontrate dalla *mainstream* neoclassica.

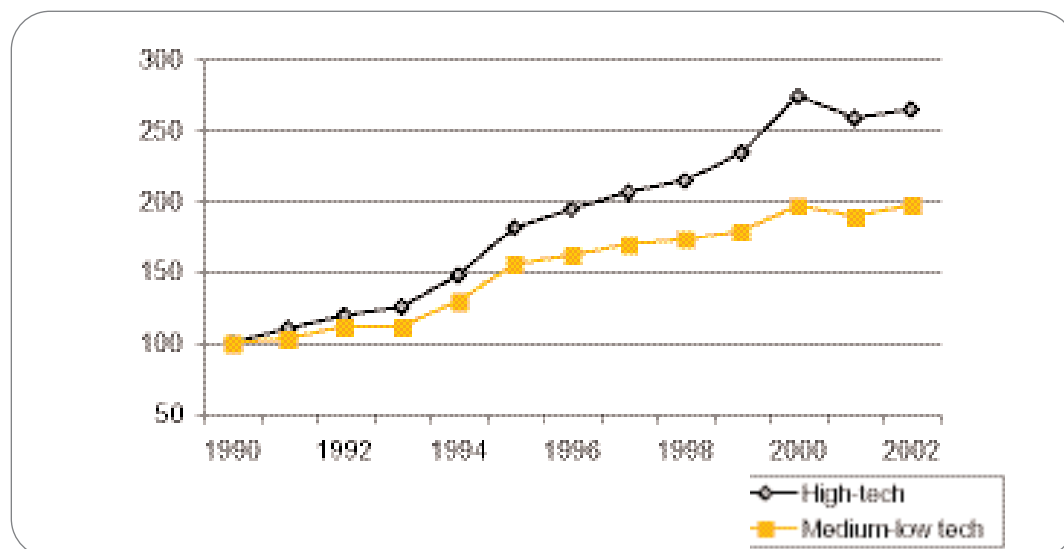
La seconda considerazione, che rinforza la prima, è collegata alla rapidità e alle multiformi e variegate dimensioni assunte dallo sviluppo tecnologico proprio nei tempi più recenti. Da questo punto di vista anche la riflessione economica finora "più attenta" alle logiche dell'innovazione è solo all'inizio di un nuovo cammino. È importante tuttavia cogliere quegli elementi che segnano il passaggio dell'ultimo decennio, con nuove dinamiche tecnologiche, nuove dinamiche dello sviluppo e, non ultimo, nuovo ruolo degli attori sulla scena internazionale. Ed è dunque tale passaggio che questo Quarto Rapporto ritiene irrinunciabile e senza il quale, oggi più che mai, perderebbe ogni significato il riferimento anche minimo a qualunque realtà nazionale.

Le grandi aree geoeconomiche

Lo scenario internazionale conferma la preminenza nel commercio internazionale degli scambi di prodotti ad alta tecnologia (figura 1).

Figura 1
Andamento degli scambi internazionali manifatturieri (1990=100)

Fonte: Banca dati Ce-REM World Trade.



Questo processo, in atto ormai da molti anni, configura anche le trasformazioni dei rapporti tra le grandi aree economiche che nel complesso controllano una quota percentuale del totale mondiale dell'ordine del 75%.

L'emergere di nuovi attori tende a occupare quote crescenti di questo mercato riducendo la presenza di quelle aree (figura 2).

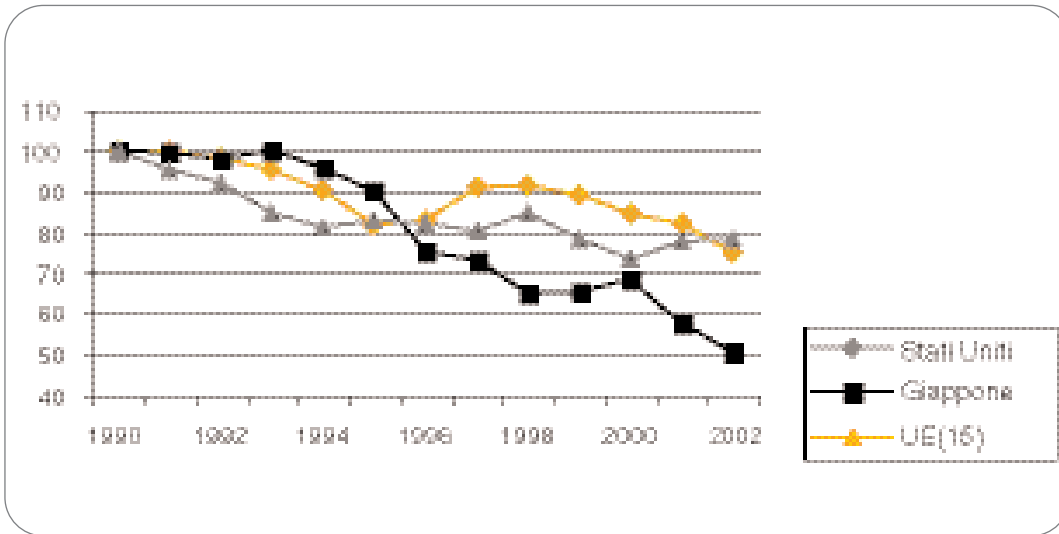


Figura 2
 Andamento della quota di commercio internazionale di prodotti high-tech (1990=100)
 Fonte: Banca dati CeREM World Trade

Questa presenza si manifesta, tuttavia, ancora prevalentemente, attraverso sistemi innovativi determinati dagli investimenti esteri, piuttosto che da autonome capacità innovative rilevabili dalle quote brevettuali mondiali (figura 3) che restano per il 95% provenienti dalle tre aree più industrializzate.

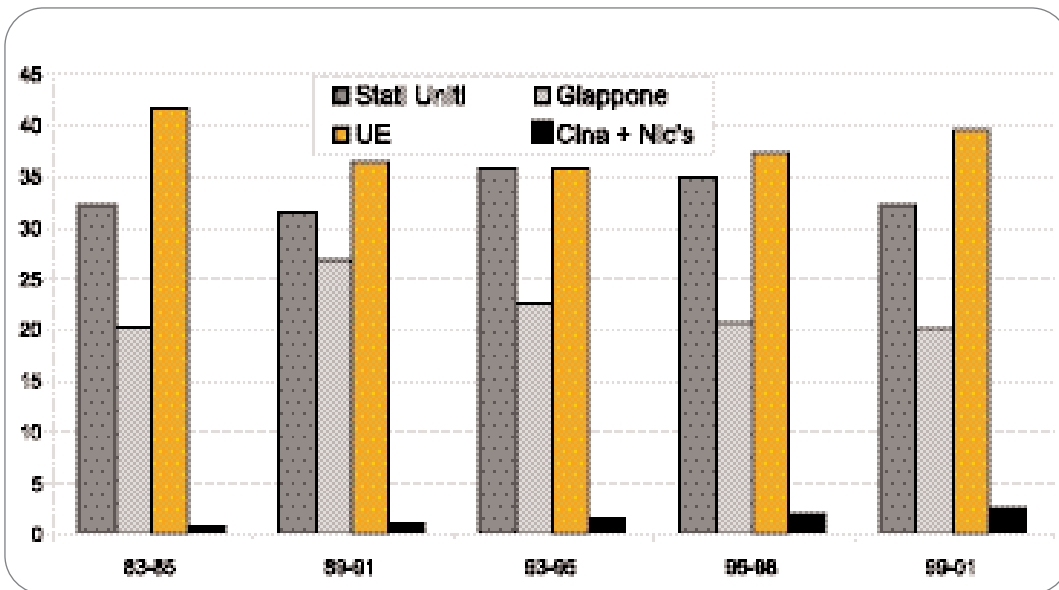


Figura 3
 Quota percentuale sul totale mondiale di brevetti high-tech
 Fonte: Banca dati Ueb - Cespri

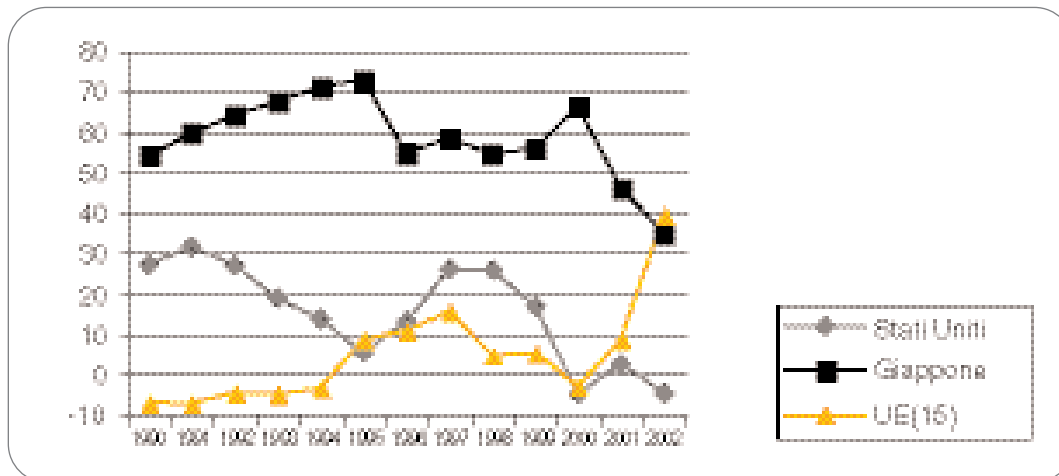
Nei dodici settori che compongono il complesso dei prodotti ad alta tecnologia, le specializzazioni produttive di Stati Uniti, Europa e Giappone indicano differenze significative e, nel complesso una maggiore consistenza tecnologica da parte degli Stati Uniti e del Giappone rispetto all'Europa.

Diverso è lo scenario se si analizza l'andamento dei saldi commerciali (figura 4), dove l'Europa(15) dopo una lunga ricorsa a metà del decennio 90 realizza valori positivi mentre gli Stati Uniti e, seppur in termini diversi, il Giappone mostrano segni di difficoltà.

Figura 4

Saldi commerciali nei prodotti high-tech (mld. di \$ US correnti)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade



L'Unione Europea

Questo andamento positivo dell'UE¹⁵ è il risultato di comportamenti molto differenziati da parte dei singoli paesi sia sul piano della crescita economica (tabella 1), sia in materia di competitività tecnologica rilevata dai dati delle quote di mercato normalizzate nei prodotti ad alta tecnologia (figura 5).

Tabella 1

Variatione percentuale della quota di PIL mondiale tra il 1990 e il 2002

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su dati Fmi

| Paese | Variatione |
|-------------|------------|
| Irlanda | 55,4 |
| Lussemburgo | 32,1 |
| Finlandia | 10,2 |
| Grecia | -4,2 |
| Olanda | -4,5 |
| Spagna | -4,6 |
| Danimarca | -6,3 |
| Portogallo | -6,7 |
| Regno Unito | -8,8 |
| Austria | -10,4 |
| UE15 | -10,7 |
| Francia | -12,0 |
| Belgio | -12,1 |
| Svezia | -13,5 |
| Germania | -13,8 |
| Italia | -15,7 |

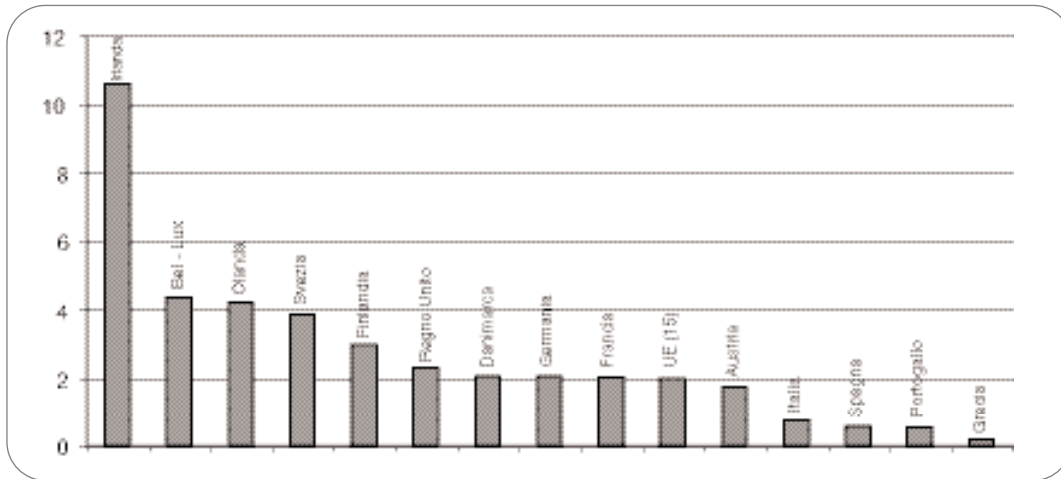


Figura 5
Rapporto tra quote di mercato high-tech e quote di PIL mondiali (media 1996-01)
Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade

Indicazioni più nette sul consolidamento di nuove posizioni competitive conseguenti ad un orientamento più accentuato della specializzazione di un insieme di paesi europei su produzioni ad elevato contenuto tecnologico, possono essere poi tratte dall'esame del saldo commerciale normalizzato per l'intero periodo 1996-01 (figura 6).

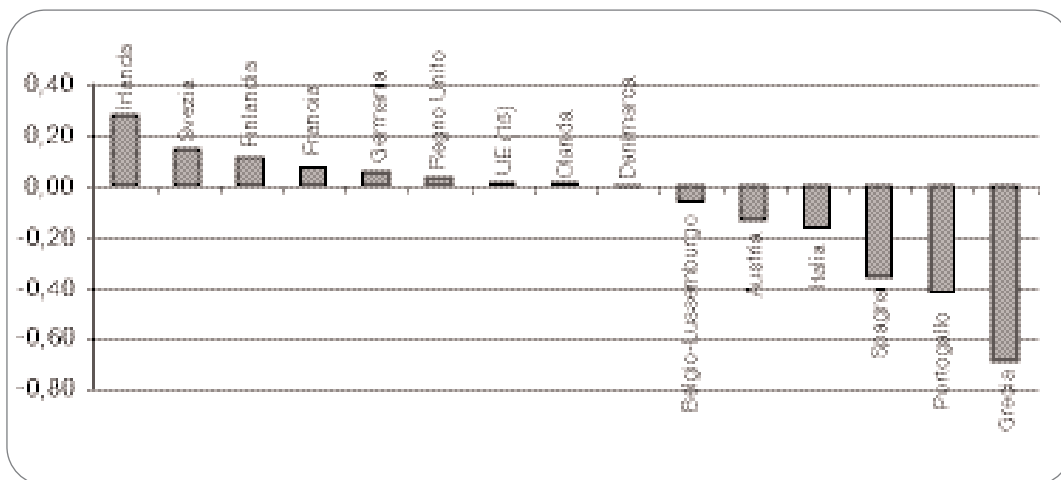


Figura 6
Saldi commerciali normalizzati relativi ai prodotti high-tech di 15 paesi UE (media 1996-2001)
Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade

La graduatoria che ne emerge non solo conferma nella sostanza le precedenti risul-tanze, ma delinea un prospetto nel quale particolarmente significativa è la presen-za di spartiacque tra gruppi di paesi e, dunque, assai più definita la relativa gerar-chia. Ad un estremo, rappresentato da paesi scandinavi e del nord dell'Europa, Svezia, Finlandia e Irlanda, fa da contrappeso all'altro estremo un gruppo di paesi rappresentati da Austria, Italia, Spagna, Portogallo e Grecia e, al centro i tradiziona-li paesi industrializzati dell'Europa: Germania, Francia, Regno Unito, Olanda, Belgio e la "matricola" Danimarca.

Per un ulteriore approfondimento di queste diverse dinamiche tecnologiche dei pae-si dell'UE(15) può essere utile verificare l'andamento della quota di export di pro-dotti ad alta tecnologia sull'export manifatturiero totale, un rapporto che segnala in qualche misura il processo di trasformazione tecnologica avviato dai paesi indu-strializzati come risposta al mutamento delle condizioni competitive internazionali. Contro una crescita di questo rapporto dell'UE(15) di 3,8 punti percentuali – pas-sando nel quinquennio 1996-01 dal 16,4% al 20,2% – si registra infatti un aumento

di circa quattro punti per l'Irlanda e la Danimarca e di ben oltre otto punti nel caso della Finlandia, un incremento, quest'ultimo, avvicinato solo dalla Francia con 7 punti. Per la Germania il rapporto aumenta di 4 punti percentuali e il Belgio si colloca a ridosso della media con un incremento di 3,6 punti. Anche l'Italia aumenta questa quota, ma con una crescita di soli 2,3 punti e partendo dal livello piuttosto modesto del 6,5%, che segnala, in effetti, la difficoltà dell'Italia nel cambiamento del modello di sviluppo.

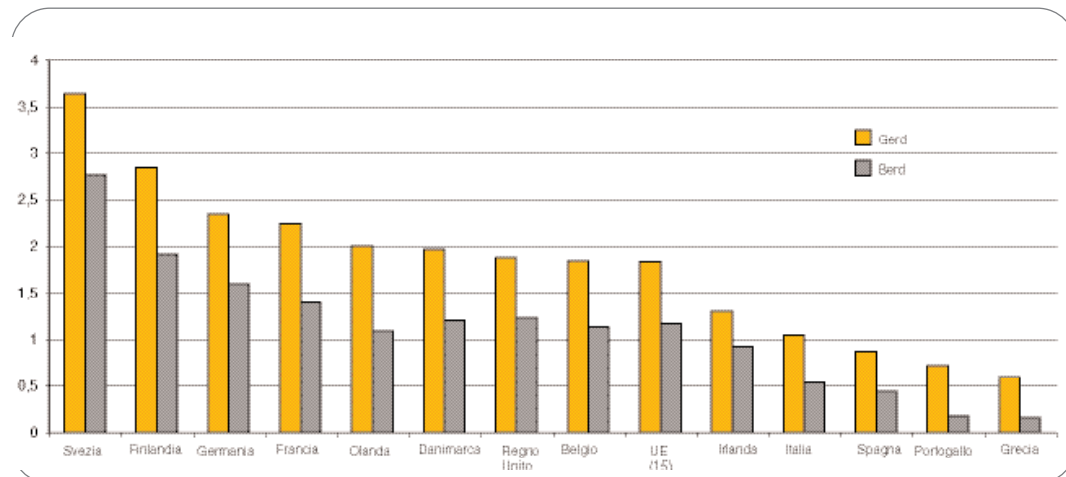
Rispetto alle dinamiche sottese alle risultanze esaminate, diventa infine rilevante l'esame degli andamenti delle capacità innovative rappresentate dai dati brevettuali. La capacità innovativa espressa dall'andamento della quota di brevetti nei settori high-tech detenuta dai diversi paesi europei, calcolata sul totale dell'UE(15), conferma in varia misura le dinamiche tecnologico-commerciali rilevate in precedenza. Pur se l'effetto "dimensione" tende a mascherare il rilievo delle trasformazioni del potenziale innovativo dei singoli paesi, anche da questo indicatore emerge una presenza dell'UE(15) come un "insieme" di paesi relativamente distinti piuttosto che come una singola unità politico-economica.

Sul piano della valutazione dell'evoluzione delle capacità innovative, occorre infine integrare l'analisi dei dati precedenti con quelli relativi dell'andamento del rapporto tra le quote brevettuali high-tech e le quote di export high-tech. Risiede infatti nella natura di tali rapporti, che non colgono attraverso i brevetti così misurati l'apporto innovativo di provenienza estera, la possibilità di individuare elementi della competitività tecnologica dei diversi paesi collegati alla presenza di sistemi nazionali di ricerca e innovazione. Di conseguenza se alti rapporti accompagnati da *performance* commerciali significative sono rappresentativi di "sistemi tecnologici nazionali" integrati e positivi, bassi rapporti accompagnati, tuttavia, da performance commerciali positive debbono essere interpretati come sistemi tecnologici più o meno fortemente soggetti ad una dipendenza innovativa estera. Bassi rapporti accompagnati da presenze relative di scarso rilievo sui mercati internazionali dell'high-tech sono, naturalmente, indicativi di difficoltà, o persino di esclusione, dei singoli paesi dalle tendenze produttive e commerciali mondiali in corso. Pur all'interno di situazioni che denotano un'ampia casistica, al gruppo di paesi con un sistema innovativo/tecnologico fortemente integrato vanno ascritti particolarmente la Germania, l'Olanda, la Finlandia e, in qualche misura la Svezia. Al gruppo di paesi con un sistema innovativo/tecnologico aperto a significative e crescenti capacità innovative este-

Figura 7

Media annua della spesa in R&S in punti percentuali del PIL nel periodo 1995-2000 (totale nazionale e totale delle imprese manifatturiere)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su dati OCSE



re, sono attribuibili certamente l'Irlanda, oltre al Belgio, alla Danimarca e al Regno Unito.

L'entità della spesa in R&S (figura 7), offre elementi di conferma relativi al grado di sviluppo di autonome capacità innovative da parte dei singoli paesi e, quindi, sulla struttura e sulla consistenza di questa componente del sistema competitivo tecnologico.

Non a caso, quindi, ai primi posti della classifica relativa alla spesa in R&S complessiva e di quella realizzata dalle imprese – entrambe misurate in termini di percentuale del PIL – si collocano ancora Svezia, Finlandia, Germania, Francia e Olanda.

La valutazione del rapporto tra quote di mercato dei singoli settori ad alta tecnologia e le quote di Pil, assumendo il valore medio nel periodo 1996-2001 (tabella 2), consente poi di caratterizzare il quadro tecnologico-produttivo dei diversi paesi e, in questo senso, di offrire indicazioni sull'equilibrio "tecnologico" interno allo stesso sistema produttivo dei singoli paesi, oltre che in materia di specializzazioni produttive.

In questo caso nelle graduatorie precedenti si inseriscono anche quei paesi, come l'Irlanda, il Belgio, la Danimarca e il Regno Unito, per i quali il contributo innovativo estero rappresenta una quota variamente significativa del proprio sistema tecnologico.

L'esame dei dati della tabella 2 consente, inoltre, di verificare una osservazione di rilievo: sia che il sistema competitivo si basi su una autonoma capacità innovativa, sia che risulti sorretto da interventi di ricerca e di innovazione esteri, in ogni caso anche paesi di modeste dimensioni presentano alcune spiccate specializzazioni produttive ma poi, nel complesso, una qualche presenza competitiva diffusa in una pluralità di settori high-tech. Rispetto al valor medio dell'UE(15), l'Olanda si colloca su valori superiori in otto settori su dodici, Irlanda, Belgio e Germania in sette, la Svezia e il Regno Unito in sei, la Francia e la Finlandia in quattro e la Danimarca in tre, l'Austria in uno. A livello inferiore a quello medio dell'UE(15) in tutti i dodici settori *high-tech* si ritrovano ancora solo l'Italia, la Spagna, il Portogallo e la Grecia.

| | High-tech | Farma | Energia | Chim. | Materi | Automaz. | Mac.Uff. | Telecom | Elmed | Coel | Aero | Strum | Ottica |
|-------------|-----------|-------|---------|-------|--------|----------|----------|---------|-------|------|------|-------|--------|
| Irlanda | 5,33 | 7,59 | 1,56 | 4,15 | 0,15 | 0,12 | 12,92 | 5,77 | 3,64 | 6,98 | 0,65 | 1,07 | 0,26 |
| Belgio-Lux | 2,18 | 0,65 | 1,89 | 3,91 | 0,87 | 2,19 | 1,86 | 2,46 | 1,50 | 1,70 | 0,78 | 1,02 | 3,03 |
| Olanda | 2,11 | 1,30 | 1,07 | 1,65 | 2,14 | 0,58 | 5,30 | 1,27 | 3,74 | 2,70 | 0,59 | 1,66 | 1,85 |
| Svezia | 1,93 | 2,39 | 2,30 | 0,62 | 0,68 | 2,20 | 0,33 | 5,24 | 1,97 | 0,78 | 1,14 | 1,69 | 0,87 |
| Finlandia | 1,49 | 0,21 | 1,29 | 0,33 | 0,93 | 1,13 | 0,79 | 4,61 | 2,42 | 0,52 | 0,11 | 1,28 | 0,20 |
| Regno Unito | 1,14 | 0,97 | 1,16 | 0,84 | 1,47 | 0,63 | 1,43 | 1,05 | 0,55 | 1,16 | 1,36 | 1,54 | 1,03 |
| Danimarca | 1,04 | 2,10 | 0,69 | 0,73 | 0,26 | 0,37 | 0,44 | 1,44 | 2,53 | 0,46 | 0,30 | 1,39 | 2,16 |
| Germania | 1,02 | 0,92 | 1,41 | 1,20 | 1,07 | 1,74 | 0,64 | 0,78 | 1,45 | 1,09 | 1,16 | 1,43 | 1,88 |
| Francia | 1,02 | 0,99 | 0,81 | 1,20 | 1,55 | 0,44 | 0,68 | 0,76 | 0,76 | 1,05 | 1,98 | 0,75 | 0,60 |
| Ue(15) | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Austria | 0,46 | 0,89 | 0,74 | 0,26 | 0,78 | 1,23 | 0,18 | 0,47 | 0,37 | 0,71 | 0,51 | 0,42 | 0,29 |
| Italia | 0,37 | 0,50 | 0,54 | 0,45 | 0,35 | 0,97 | 0,16 | 0,29 | 0,25 | 0,34 | 0,42 | 0,36 | 0,22 |
| Spagna | 0,28 | 0,34 | 0,26 | 0,32 | 0,08 | 0,49 | 0,22 | 0,38 | 0,20 | 0,16 | 0,26 | 0,26 | 0,09 |
| Portogallo | 0,27 | 0,19 | 0,19 | 0,23 | 0,67 | 0,04 | 0,04 | 0,54 | 0,05 | 0,48 | 0,12 | 0,20 | 0,16 |
| Grecia | 0,08 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | 0,13 | 0,03 | 0,01 | 0,09 | 0,03 | 0,01 |

Tabella 2

Rapporto tra le quote di mercato sull'export mondiale nei settori high-tech e le quote di PIL mondiali (media 1996-01) – (UE(15)=1)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade e Fmi

L'Italia

Gli andamenti generali

Nel periodo compreso tra il 1990 e il 2003 l'andamento dell'economia italiana, misurato attraverso la dinamica del PIL, ha mostrato uno sviluppo molto debole, pari all'1,47% in media annua, nettamente inferiore alla media dell'UE(15). Rispetto a quest'ultima, in particolare, si è registrata una differenza negativa pari a 7,3 punti percentuali di crescita lungo l'intero arco temporale in esame, una tendenza confermata anche dal confronto del PIL pro-capite. Questa divergenza dall'Europa, peraltro già segnalata nel precedente Rapporto, appare fortemente connessa a caratteristiche strutturali del sistema produttivo nazionale relativamente accentuate rispetto alla media dei paesi dell'Unione. Una pubblicistica ormai diffusa riconosce nella eccessiva frammentazione ma anche, e particolarmente, nella specializzazione produttiva in aree a medio-bassa intensità tecnologica – aspetti peraltro fortemente interrelati – le cause non marginali delle difficoltà di sviluppo del Paese.

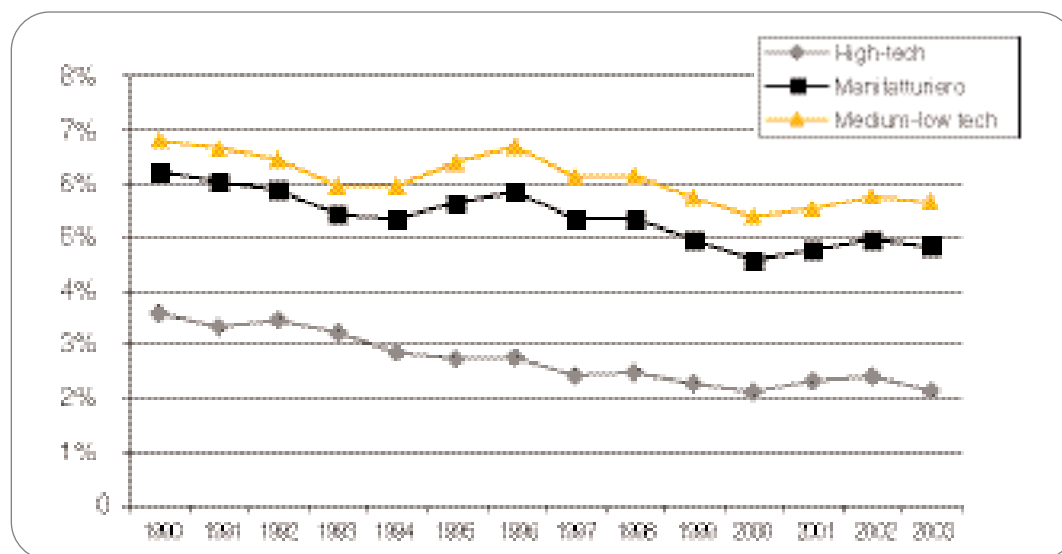
La quota di commercio mondiale dell'Italia nei comparti ad alto contenuto tecnologico è scesa nel 2001 al 2,29% contro un già esiguo 3,55% del 1990, con una perdita, quindi, di oltre il 35%. Per converso, nello stesso periodo, la quota dell'UE(15) è diminuita meno del 10%.

Questa perdita nel settore dell'alta tecnologia spiega, tuttavia, solo in parte la diminuzione complessiva della nostra quota di commercio internazionale manifatturiero. Tale quota è, infatti, passata nello stesso periodo dal 6,19% al 4,72%, registrando una diminuzione di oltre il 23%, che mette in luce una significativa perdita anche da parte delle nostre produzioni a medio-basso contenuto tecnologico, particolarmente sensibile a partire dal 1996-97, con l'esaurirsi degli effetti della svalutazione (figura 8). Negli anni 2002 e 2003 il declino delle quote di mercato italiane sulle esportazioni mondiali di prodotti high-tech si accentua, con una discesa al 2,10%.

Nel decennio 90 anche la capacità innovativa del Paese, misurata in termini di numero di brevetti per milione di abitanti, sebbene già prossima al 50% della media UE(15), ha registrato una ulteriore contrazione (figura 9). Una valutazione dell'an-

Figura 8
Andamento delle quote di mercato mondiale dell'Italia

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade



damento dell'attività brevettuale in termini di rapporto tra brevetti high-tech e brevetti totali fa emergere, inoltre, una sempre più ridotta qualità dell'attività innovativa, particolarmente evidente nell'ultimo periodo e con una tendenza a divergere dall'UE(15)

Nel complesso, la quota mondiale di brevetti dell'Italia nell'high-tech nel periodo 1999-01 risulta pari all'1,51% contro un valore superiore al 2,01% di inizio decennio, con una perdita totale di circa il 25%, che conferma la natura strutturale della debolezza competitiva già rilevata negli scambi commerciali.

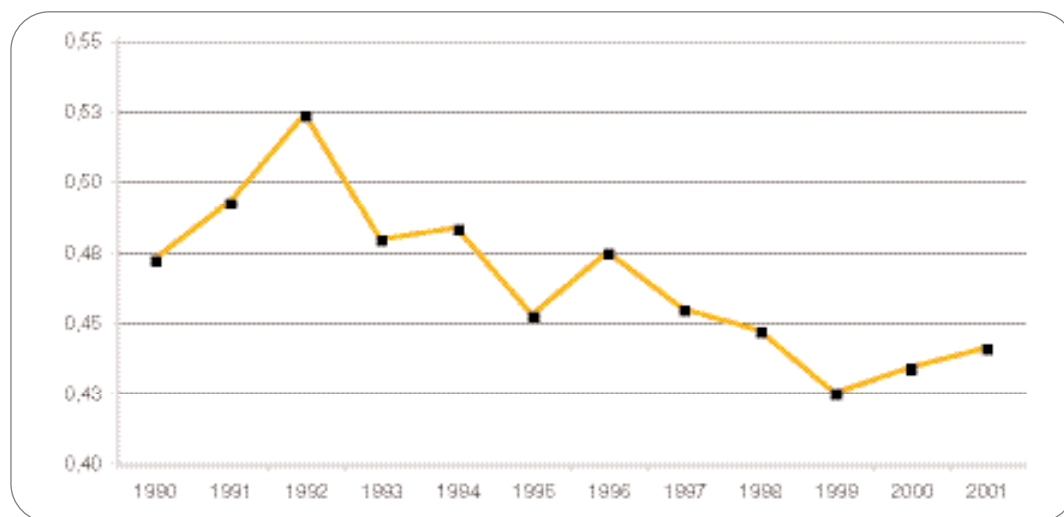


Figura 9
Numero di brevetti per milione di abitanti, rapporto Italia /UE (15)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati UEB - Cespri.

Non meno critici appaiono, infine, i dati in materia di internazionalizzazione dell'industria italiana, misurati in termini di flussi di investimenti esteri in entrata, che sottolineano la minore attrattività del nostro Paese rispetto al resto dei paesi dell'UE(15). Variazioni percentuali di questi flussi inferiori a quelle dell'UE(15) hanno caratterizzato l'intero periodo e, talvolta, manifestato una tendenza alla diminuzione. Peraltro, mentre nel settore manifatturiero si è realizzato un sostanziale bilanciamento fra operazioni in entrata e operazioni in uscita, nei settori high-tech prevale nettamente la presenza di "deficit" di internazionalizzazione. Tra i dodici settori high-tech considerati solo due presentano nel 2002 un saldo positivo: la componentistica elettronica, per merito esclusivo di una sola impresa, e l'automazione industriale, settore di per sé meno internazionalizzato.

Le analisi e le valutazioni strutturali

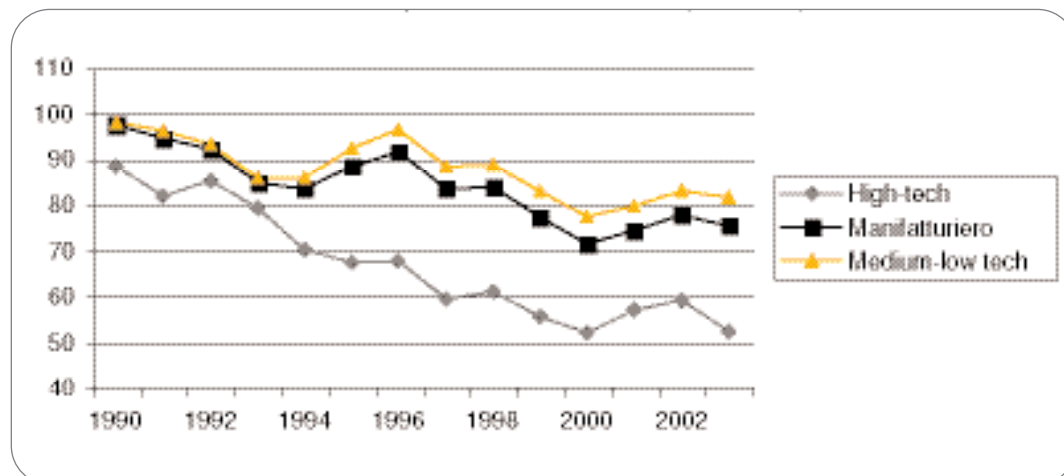
Gli andamenti generali degli indicatori utilizzati per valutare l'evoluzione della competitività tecnologica dell'Italia confermano, dunque, l'evidenza di un processo di divergenza dall'UE(15) che ha inizio negli anni 80. Un esame più puntuale di quegli indicatori e dei reciproci intrecci consente di rilevare non solo la dinamica di tale processo ma anche nuove e importanti linee di tendenza.

Se fino agli inizi degli anni 90 la perdita di quote di commercio internazionale era prevalentemente dovuta alla perdita di quote nei settori ad alta tecnologia, con una maggiore tenuta nei settori a medio e bassa tecnologia, a partire dalla seconda metà del decennio, a fronte di una perdurante debolezza commerciale del Paese nei settori high-tech, è divenuta significativa la perdita di quote da parte dei settori tradizionalmente forti (figura 10).

Figura 10

Italia: numero indice delle quote di mercato mondiale (1980=100)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati CeREM World Trade



In questo scenario il sopraggiungere di nuovi significativi attori sulla scena commerciale internazionale è stato certamente responsabile di una parte consistente della perdita delle quote di mercato nei settori medium-low tech, ma il generale allargamento dei mercati ha anche dischiuso altrettante nuove opportunità per le produzioni nazionali ad elevato contenuto tecnologico. Tali opportunità sono state in effetti agevolate dalle favorevoli condizioni valutarie ma, proprio il venir meno di queste ultime, ha determinato alla fine perdite nelle quote di mercato dell'export di prodotti high-tech superiori a quelle registrate dai prodotti medium-low tech.

D'altra parte, la relativa tenuta delle quote di mercato nei settori high-tech nella seconda metà degli anni 90 non è stata tale da incidere sugli andamenti dei saldi commerciali, rimasti negativi e crescenti fino a tutto il 2000, con l'eccezione degli anni 1993 e 1996. In questi due anni – con una variazione del Pil di -0,9% e di +1,1% rispettivamente – la diminuzione della domanda interna ha infatti prodotto una riduzione delle importazioni superiore a quella delle esportazioni con effetti che si sono ripercossi positivamente sui saldi dei prodotti high-tech.

Nel 2000, con il massimo della crescita del PIL conseguita nel decennio 90 (+3%), il deficit commerciale dei prodotti high-tech raggiunge il suo massimo.

Nel 2001, in connessione con il favorevole cambio euro/dollaro, le nostre esportazioni riescono a crescere in termini percentualmente maggiori rispetto alle importazioni. Con il cambiamento di questa positiva situazione valutaria nel 2002 e nel 2003^[1] riprende, in maniera peraltro sostenuta, la crescita del deficit commerciale per i prodotti high-tech e, come si è visto, anche la perdita di quote di commercio internazionale. L'elemento da rilevare consiste proprio in questa concomitanza tra l'andamento negativo delle quote di mercato internazionale e del saldo in anni – come il 2002 e il 2003 – di accentuata bassa crescita del PIL (0,4% nel 2002 e 0,3% nel 2003). In effetti nel 2002 e nel 2003 si riduce fortemente l'entità delle nostre importazioni ma, contrariamente ad analoghe precedenti situazioni, si riduce maggiormente quella delle esportazioni^[2].

Riesaminando le quote di mercato dei prodotti medium-low tech si osserva, in realtà, che queste hanno registrato perdite fin dal 1996, pur conservando un saldo commerciale fortemente attivo. Dal 1997, tuttavia, anche i saldi commerciali di questi prodotti iniziano a diminuire; risentono positivamente del cambio favorevole euro/dollaro nel 2000 e 2001, ma presentano una caduta negli anni successivi, con un andamento del tutto simile a quello dei settori high-tech e con quote di mercato che scendono nel 2003 al 5,6%.

Nel complesso, alla specifica difficoltà competitiva dei settori medium-low tech sembra concorrere l'evoluzione dello scenario internazionale, con l'emergere di nuovi e importanti attori, ma, in ragione delle interazioni e interdipendenze tecnologiche che caratterizzano ogni sistema produttivo^[3], sembra ragionevole porre l'attenzione anche alla crisi competitiva indotta dal cattivo andamento della competitività dei settori high-tech. Tale crisi sembra peraltro essersi rafforzata proprio nei confronti dei partner dell'Unione.

Particolarmente rilevante è l'andamento negativo dei saldi commerciali normalizzati dei prodotti high-tech nell'arco di tutto il periodo tra il 1996 e il 2003, lungo una linea di declino mediamente più accentuata che nei prodotti medium-low tech. Negli anni 2002 e 2003, l'andamento fortemente negativo che ha caratterizzato la dinamica delle esportazioni, nonostante i primi cenni di ripresa internazionale, ha infatti interessato i prodotti high-tech in misura eccezionale, tale da distanziare le importazioni, anch'esse in riduzione a causa della stagnazione della domanda interna. Comportamenti paralleli ma meno accentuati si sono verificati nel caso dei prodotti medium-low tech (tabella 3).

| | 2002 | 2003 |
|-------------------------------------|-------|--------|
| Variazione % export high-tech | -3,20 | -14,40 |
| Variazione % export medium-low tech | -1,30 | -3,50 |
| Variazione % import high-tech | -2,53 | -7,31 |
| Variazione % import medium-low tech | 0,26 | -2,01 |

Tabella 3
Andamento dei flussi commerciali manifatturieri negli anni 2002 e 2003

I diversi fattori di natura congiunturale e monetaria hanno, quindi, continuato a filtrare gli andamenti dei flussi commerciali, "accompagnando" il peggioramento di un sistema di competizione tecnologica sempre più debole e deteriorato nella capacità di generare innovazione (figura 11).

La ormai pluriennale ridotta dimensione della spesa pubblica e privata in attività di R&S, ha certamente condizionato l'andamento di indicatori quali quelli precedentemente esaminati. Nel complesso, il mancato "accumulo" storico in materia di investimenti in R&S – dal 1990 al 2000 quasi dieci punti percentuali di PIL in meno rispetto alla media dell'UE(15) – si è riflesso non solo sulla consistenza del patrimonio brevettuale nazionale ma anche, e in misura assai critica in relazione all'importanza del "sistema competitivo", sulle dinamiche economiche e sociali dove sempre più pesa l'assenza di un orizzonte di sviluppo coerente con quello dei maggiori paesi

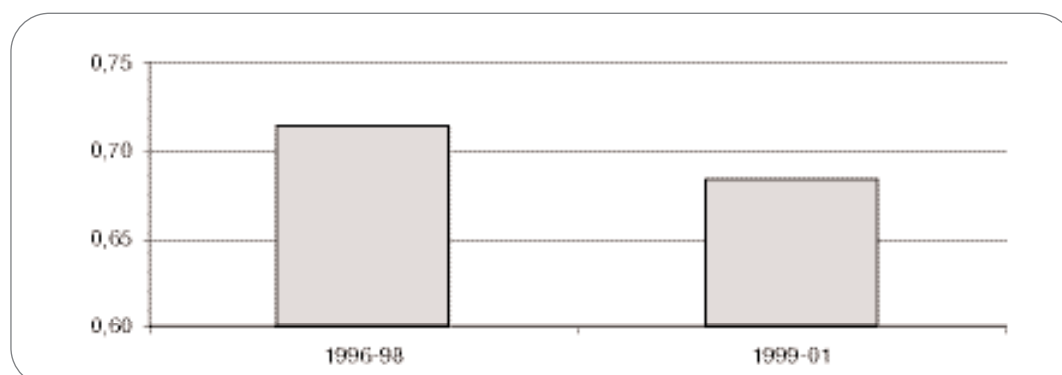


Figura 11
Rapporto tra quote mondiali di brevetti e quote mondiali di esportazioni dell'high-tech dell'Italia

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su Banca dati UEB- Cespri e Banca dati CeREM World Trade.

industrializzati. Occorre, tuttavia, sgombrare il campo da una diffusa interpretazione della debolezza tecnologica dell'Italia come risultato di una scarsa propensione del sistema produttivo verso gli investimenti in R&S.

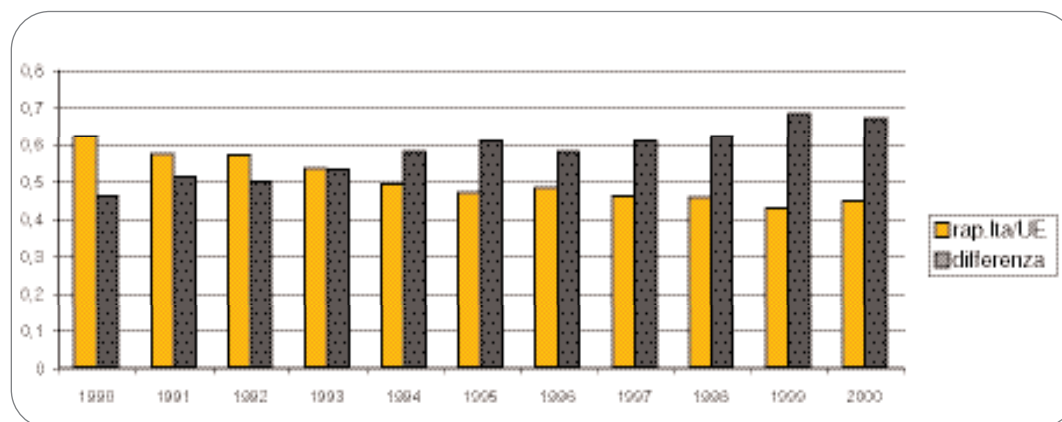
Questa interpretazione appare infatti sostenuta dai confronti tra indicatori, come quelli relativi alla quota del PIL spesa dalle imprese in R&S, che registrano attraverso i loro andamenti non le cause ma gli effetti di un determinato assetto tecnologico, confermando quelle divergenze di comportamento dell'Italia dall'UE(15) alle quali si è più volte accennato (figura 12).

Affermare che le cause risiedano in una minore disponibilità delle imprese italiane ad investire in R&S, presuppone che siano confrontabili anche gli attori di questa spesa e, in particolare, la dimensione e la specializzazione produttiva dei corrispondenti sistemi d'impresa, due fattori che, come è noto, determinano in grande misura l'entità della spesa in ricerca delle singole imprese. Confronti condotti tenendo presente questi fattori^{9, 10, 11} consentono di affermare l'inesistenza di differenze significative nell'entità della spesa in R&S da parte delle imprese italiane rispetto a quella sostenuta da analoghe imprese degli altri paesi industrializzati. La minore spesa rilevata da indicatori complessivi come quello relativo alla percentuale di Pil speso in R&S, rappresenta, in realtà, una conseguenza della diversità di quei due fattori piuttosto che una misura della diversa propensione delle imprese in materia di investimenti in R&S.

Figura 12

Andamento della differenza e del rapporto tra Italia e UE(15) nella spesa in R&S da parte delle imprese (calcolati sulla percentuale di spesa rispetto al PIL)

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su dati OCSE



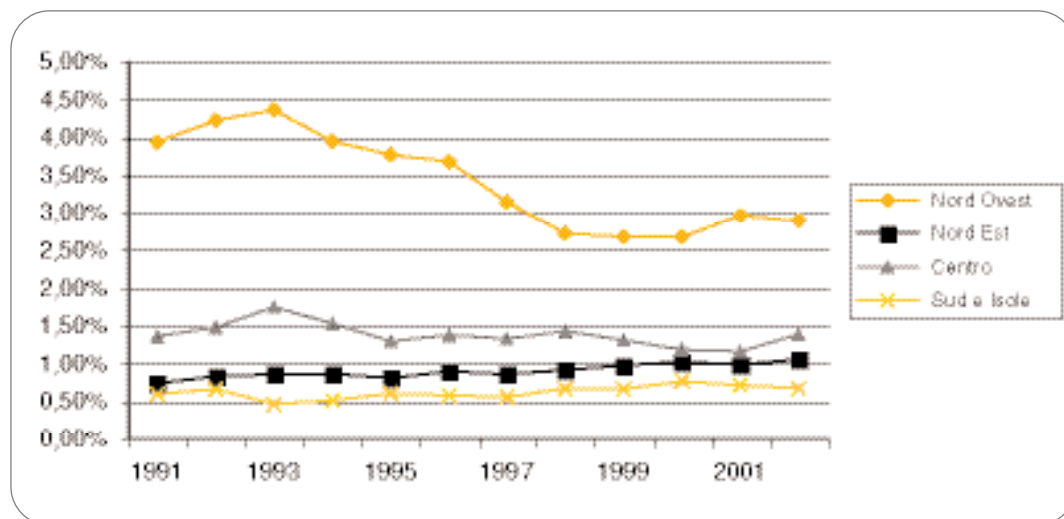
Il territorio

L'analisi delle dinamiche territoriali della competitività tecnologica dell'Italia, condotta nel precedente Rapporto con riferimento alla seconda metà degli anni 90, aveva portato alla luce il consolidamento di quelle caratteristiche del modello di specializzazione produttiva nazionale che tanta parte hanno avuto nel determinare la difficile collocazione del Paese nella "nuova" divisione internazionale del lavoro. In particolare, la crisi della grande industria, a prevalente collocazione nel Nord Ovest, e la relativa vitalità delle aree a industrializzazione diffusa tipicamente distrettuali, avevano accentuato un processo di riequilibrio territoriale sul fronte dell'export non accompagnato da un adeguato riassetto del sistema innovativo.

Sul finire del decennio queste tendenze non mostrano cenni di sostanziale mutamento, mentre inizia progressivamente a rivelarsi la natura transitoria di quella più equili-

brata configurazione dell'export che aveva accompagnato la dinamica della competitività dell'Italia nella fase successiva alla svalutazione della lira. Diversamente da quanto era emerso nel precedente Rapporto, le dinamiche competitive delle esportazioni nei settori dell'alta tecnologia che caratterizzano la fine degli anni 90 e i primi anni del 2000 mostrano, infatti, un'interruzione del processo di riequilibrio territoriale in atto fra le ripartizioni e le regioni italiane e, in particolare, di lieve recupero delle regioni meridionali. Il nuovo assetto, sebbene in linea con le tendenze generali del commercio estero territoriale di fine decennio, presenta inoltre in questa fase significative accentuazioni e specificità (figura 13).

Tra il 1999 e il 2001 la sostenuta espansione dei flussi delle esportazioni del Nord Ovest e il contestuale rallentamento dei flussi esportati dal resto dell'Italia hanno modificato l'incidenza relativa delle singole ripartizioni e regioni investendo i settori manifatturieri high-tech più intensamente di quelli medium-low tech. Il processo di diffusione territoriale dell'export che aveva apparentemente ridotto le distanze tra Nord, Centro e Mezzogiorno relativamente ai due comparti si è così interrotto, riproducendo una distribuzione dell'export high-tech maggiormente concentrata nelle aree settentrionali del Paese e, in particolare, nel Nord Ovest.


Figura 13

Quota di esportazioni high-tech sul totale UE(15) per ripartizione territoriale

Fonte: elaborazione Osservatorio ENEA su dati ISTAT

Nel Nord Est, in concomitanza con la crisi del 2001 del commercio internazionale, un brusco rallentamento ha interessato la crescita dell'export high-tech in misura più intensa che nel resto del manifatturiero, modificando così quella dinamica che negli anni 90 aveva fatto registrare tassi annui di incremento costantemente a due cifre, ben superiori a quelli dei comparti a medio-bassa intensità tecnologica di relativa specializzazione industriale (la quota sull'export nazionale di high-tech si assesta in questa ripartizione su valori intorno al 17%). Fra le regioni che compongono tale ripartizione, proprio il Veneto e soprattutto il Friuli Venezia Giulia, le realtà più dinamiche nella seconda metà degli anni 90, registrano il rallentamento più sensibile, con una contrazione del flusso di esportazioni rispettivamente del 5,2% e del 17,6% tra il 2000 e il 2001, che culmina nel 2003 in un arretramento significativo della quota di export high-tech sull'export manifatturiero.

La nuova configurazione territoriale del commercio estero a vantaggio delle aree settentrionali del Paese è dunque rimasta circoscritta alla Lombardia e in misura

assai significativa al suo capoluogo, ultimo baluardo di una crisi nazionale dell'export collegata alla debole competitività tecnologica. In questo senso appaiono significativi gli andamenti più problematici dell'export in questa regione nel biennio 2002-03 e, in particolare, l'assenza di positive dinamiche nell'attività d'innovazione. Alla fine del decennio 90 la Lombardia registra infatti una quota di brevetti high-tech di poco superiore al 40% del totale nazionale, con una perdita di quasi 8 punti percentuali, alla quale si contrappone il recupero registrato da quasi tutte le altre regioni dell'Italia settentrionale. La debolezza del contesto innovativo appare inoltre accentuata dal sempre più esile processo di internazionalizzazione produttiva, con una riduzione dei flussi in uscita che si concentra proprio nel Nord Ovest e, specificamente al capoluogo lombardo, da sempre attore principale di questo fronte dell'industria (nel 2002 ha sede in Lombardia il 45,7% delle case madri italiane).

**il Mezzogiorno
segnala dal
2001 il declino
di esportazioni
manifatturiere
in high-tech**

Esiti non meno critici e incerti hanno interessato lungo tutto il corso della seconda metà degli anni 90 e agli inizi del 2000 le regioni del Centro, con un accentuato ridimensionamento della quota sul totale nazionale delle esportazioni high-tech che è tornata a collocarsi su valori prossimi al 20%, molto simili a quelli registrati nel periodo precedente la svalutazione della lira. Tale *performance* è apparsa condizionata soprattutto dal Lazio che, rappresentando i 2/3 della quota commerciale high-tech di questa sezione, ne ha più che dimezzato la consistenza, con una perdita pari a circa dieci punti percentuali di export manifatturiero. La significatività di queste risultanze appare peraltro sottolineata dal perdurante gap tra quote del commercio e quote di brevetti, che caratterizza il Lazio proprio nell'ambito dei settori high-tech con una differenza media fra le due quote di circa 10 punti percentuali a favore dell'export, e dal gap, anch'esso stabile, di circa 5 punti percentuali, tra internazionalizzazione produttiva in entrata (in termini di imprese partecipate) e in uscita (in termini di investitori) che continua a tradurre, così come già diffusamente illustrato nei precedenti Rapporti, uno squilibrio tra attività di vendita e commercializzazione e iniziative in grado di avviare la nascita e lo sviluppo di competenze tecnologiche. Le negative *performance* del Lazio risultano in effetti controbilanciate, seppur parzialmente ed entro limiti assai ristretti, dal *trend* delle quote sul commercio nazionale dei settori high-tech della Toscana, cresciute dal 4,45% del 1995 al 6,73% del 2002, e che ha avuto luogo in modo continuo lungo tutto il decennio appena chiuso, correggendo l'ancora marcata specializzazione regionale nei settori medium low-tech. In questo senso è dunque interessante osservare la dinamica dell'attività innovativa della Toscana, con una quota di brevetti in crescita per l'high-tech dal 3,5% nel 1993-95 al 5,4% nel 1999-2001.

Ma nell'ambito della ricomposizione dei flussi commerciali è il Mezzogiorno che segnala l'arretramento più significativo, registrando a partire dal 2001 una contrazione del flusso di esportazioni manifatturiere in cui determinante appare il declino della componente relativa alle produzioni high-tech. Si è interrotto infatti di netto quel recupero che nella seconda metà degli anni 90 aveva interessato, in modo particolare in questa area del Paese, le quote dell'export high-tech sul totale nazionale, cresciute fra il 1995 e il 2000 dal 9,3% al 13,5%, e calate nel triennio successivo di circa tre punti percentuali. Solo l'Abruzzo consolida il suo secondo posto in termini di esportazioni nella graduatoria delle regioni della ripartizione territoriale dopo la Campania che conserva una quota di esportazioni di poco superiore al 5% fino al 2001 ma mostra significativi segni di cedimento negli anni suc-

cessivi. La precarietà di questo scenario del Mezzogiorno appare lievemente corretta solo alla luce delle risultanze dell'attività innovativa che si contraddistingue nel periodo 1999-2001 per un aumento della quota di brevetti sul totale nazionale. La sensibile diminuzione registrata dall'attività di brevettazione dell'Italia nel periodo 1999-2001 e la significativa entità di tale diminuzione riportata nei settori high-tech, attenuano tuttavia la portata del fenomeno che rimane comunque di dimensioni trascurabili e fortemente determinato da isolate realtà imprenditoriali, piuttosto che da un tessuto produttivo dell'alta tecnologia diffuso sul territorio. I modesti guadagni di quote di brevetti high-tech sul totale nazionale realizzati dal Mezzogiorno sono infatti imputabili quasi esclusivamente alla Sicilia (e alla provincia di Catania in particolare, che rappresenta il 69% della quota siciliana nel periodo 1999-2001). L'unica altra realtà territoriale del Mezzogiorno che si distingue per una qualche vivacità innovativa è quella della Puglia, che con un numero di brevetti high-tech registrati in crescita (unica regione del Mezzogiorno e raro caso in Italia) in un contesto innovativo nazionale in declino, ottiene un incremento della propria quota nell'ultimo periodo analizzato dallo 0,56% all'1,47%.

La dicotomia tra Centro-Nord e Mezzogiorno che i dati sui brevetti pongono in così forte risalto, appare ancora più marcata alla luce della perdurante debolezza di cui si connota il fronte dell'internazionalizzazione produttiva nel suo complesso. In particolare, il rallentamento subito dal processo di diffusione sul territorio degli investimenti diretti esteri (Ide) nell'ultima fase degli anni 90, consolida uno scenario di specifica insufficienza dell'internazionalizzazione dei settori tecnologicamente avanzati, che non ha mai coinvolto in modo significativo il tessuto industriale delle regioni meridionali italiane.

L'assestamento territoriale che ha contraddistinto la competitività dell'export dell'Italia nelle produzioni high-tech alla fine del decennio 90 appare caratterizzato dagli andamenti di specifici settori in particolari aree geografiche. Particolare rilievo assumono nel nuovo contesto quei settori che hanno contribuito positivamente alla competitività dell'Italia nell'alta tecnologia e che, per la loro prevalente collocazione nelle aree settentrionali del Paese, hanno inciso in misura assai significativa sulla redistribuzione territoriale dei flussi commerciali alla fine del decennio 90. Fra questi una speciale attenzione deve essere dedicata alla farmaceutica e all'automazione industriale, con quote sul mercato mondiale più che doppie rispetto alla media dell'high-tech e, come visto, in media con saldi commerciali significativamente positivi. Relativamente più stabile appare, invece, il rapporto tra le maggiori aggregazioni territoriali in tutti gli altri casi e, fatta eccezione per i settori della chimica e per quelli dell'energia termoelettromeccanica che manifestano una qualche "contiguità" con farmaceutica e automazione industriale rispettivamente, le tendenze più o meno critiche della competitività tecnologica osservate a livello nazionale sembrano radicalizzarsi nelle aree di maggior rilievo settoriale.

La valutazione delle dinamiche territoriali della competitività tecnologica dell'Italia quale risulta dall'analisi della fine del decennio 90 è dunque solo in apparente contraddizione con quanto emerso nel periodo immediatamente precedente. L'esame di questi ultimi anni mostra infatti una accentuazione dello iato a livello locale tra esiti commerciali e autonoma capacità del tessuto produttivo di generare innovazione. L'esaurimento delle spinte competitive originatesi dopo il 1992, che avevano fatto risaltare la *performance* del Nord Est e avevano acceso qual-

*dicotomia tra
Centro-Nord e
Mezzogiorno
nelle quote
dei brevetti*

che speranza circa l'avvio di un graduale recupero delle regioni meridionali, ha portato alla ribalta, diffusamente in tutto il Paese, realtà territoriali, indebolite sul fronte dei processi innovativi, e sulle quali gravano in misura sempre più preoccupante le tradizionali difficoltà nell'internazionalizzazione produttiva.

Dal confronto degli andamenti delle esportazioni high-tech con quelle manifatturiere, emerge inoltre che la performance nazionale nell'alta tecnologia continua a dipendere strettamente da quella del Nord Ovest. Preoccupa peraltro il delinearsi, sebbene dopo un decennio, di una nuova divaricazione fra Nord e Sud senza che ad essa sia associata una ripresa dell'attività innovativa dell'area comunque più rappresentativa del comparto high-tech. I miglioramenti registrati negli ultimi anni dalle altre ripartizioni non si sono infatti rivelati sufficientemente solidi da compensare questa situazione. Il Nord Est, seconda area dopo il Nord Ovest per volume di attività commerciali, rafforza infatti la sua specializzazione nei settori "tradizionali", low-tech e con prospettive di crescita basse, a fronte di un sostrato innovativo che penalizza particolarmente i settori dell'alta tecnologia; il Centro esibisce dei flussi commerciali estremamente volatili, senza riuscire ad adeguare le proprie quote di brevetti a quelle delle esportazioni, e il Mezzogiorno, infine, si conferma per l'eccessiva esiguità, nonché sporadicità, delle realtà attive nel comparto dell'alta tecnologia.

**competitività
indebolita
anche nei
comparti
produttivi
tradizionali**

Conclusioni

Come già indicato nel Rapporto precedente, anche in questi ultimi anni l'Italia sembra pagare il prezzo di una struttura e di una specializzazione produttiva in varia misura controcorrente rispetto a quanto emerge nei paesi più industrializzati e, in particolare, in quasi tutti i paesi dell'UE(15): un eccesso crescente di piccole e medie imprese e un difetto altrettanto crescente di medie e grandi imprese ma, sopra tutto, una collocazione su produzioni a medio-basso contenuto tecnologico.

Le logiche sottostanti a questa situazione trovano un riscontro nell'andamento degli indicatori del sistema innovativo, dalle fasi a monte, rappresentate dalle spese in R&S e dalle *performance* brevettuali, alle fasi a valle di cui sono rappresentativi gli investimenti diretti esteri, passando per l'indicatore essenziale dei saldi commerciali di prodotti ad alta tecnologia.

Le conseguenti difficoltà di tenuta commerciale connesse con il crescente e storico deficit nelle produzioni high-tech, potrebbero avere effetti allargati. Segnali recenti possono far intravedere un appesantimento del nostro equilibrio commerciale complessivo anche attraverso gli effetti diffusi derivanti dalle interdipendenze tecnologiche e tali da indebolire la competitività anche dei nostri comparti produttivi tradizionali, sempre più al traino delle importazioni d'innovazione. In questo senso, i presupposti di una maggiore competitività tecnologica anche in settori medium-low tech attraverso l'utilizzo e l'adattamento di tecnologie pervasive provenienti da settori ad alta tecnologia, sembrano trovare nel nostro Paese i limiti costituiti dalla stessa composizione e specializzazione produttiva e dai riflessi che tale dipendenza trasferisce sui nostri equilibri commerciali. Una riprova indiretta emerge dalle analisi condotte nei paragrafi precedenti relativi alla situazione dei vari paesi dell'UE(15), in particolare nei confronti di paesi che, pur partendo da

condizioni non dissimili dalle nostre, hanno affrontato la fase della competitività tecnologica attraverso la collocazione in singoli comparti tecnologici ma soprattutto con un equilibrio diffuso in materia di specializzazione tecnologica.

Quali siano gli esiti di *trend* economici generali, e non solo aziendali o di settore, di una tale situazione, rappresenta un'incognita non priva di pericoli, tali da mettere in discussione la validità di una diffusa indicazione di politica tecnologica che intenderebbe affrontare la debolezza tecnologica del Paese essenzialmente spostando su fattori di qualità le attuali specializzazioni produttive. Tale indicazione si regge, tra l'altro, sull'ipotesi che tale percorso non sia disponibile ad un ampio spettro di paesi, anche di paesi che conservano costi dei fattori assolutamente inarrivabili. Questa ipotesi, sulla base delle rilevazioni di questo Rapporto, non sembra trovare riprove convincenti se non sulla base di un più generale processo di riconversione tecnologica.

La tendenziale crescita del nostro deficit commerciale, che si appesantisce durante le fasi di maggior sviluppo del Paese, si realizza attraverso l'effetto congiunto da un lato del peso crescente degli scambi di prodotti high-tech e, dall'altro, dei nuovi limiti esistenti per attuare manovre monetarie compensative analoghe a quelle dei decenni precedenti. In queste condizioni e con i noti vincoli del bilancio pubblico, lo storico fattore competitivo costituito per il nostro Paese dal fattore lavoro, da tempo non appare più sufficiente per sostenere una qualità della domanda interna di tipo e di livello europeo.

La prevalenza dei nostri *Ide* in uscita verso paesi e produzioni a basso contenuto tecnologico particolarmente nell'high-tech se può rappresentare una positiva via d'uscita aziendale, non elimina tuttavia il rischio economico "paese". Gli investimenti esteri in entrata, che in generale accompagnano una crescita tecnologica, nel caso italiano là dove hanno spostato gli assetti proprietari, in linea generale non hanno dato luogo ad un miglioramento delle capacità brevettuali e la nostra presenza industriale sembra così venire ricondotta in questi casi ad un ruolo produttivo e non di innovazione tecnologica. Inoltre settori economici investiti da processi di privatizzazione si sono trasformati in sistemi d'acquisto all'estero di innovazioni dirette e indotte. Politiche di acquisto che, peraltro, sembra siano state assunte anche a livelli più generali come politiche di ammodernamento del Paese.

Il problema della crescita, registrata negli altri paesi, in materia di spesa in R&S, trova un vincolo nella struttura e nella specializzazione produttiva del nostro sistema economico.

Non si tratta infatti, nel caso italiano, di un sistema di imprese che spende meno in ricerca ma, come già accennato in precedenza, di un sistema che ha strutturalmente meno necessità di spesa in questo campo.

Questa diversità strutturale, a sua volta, incide sulla gestione e sulle scelte d'impresa, sull'ottica a breve delle relative strategie, sulle stesse potenzialità di dialogo con possibili attori e partner nazionali dell'innovazione, ma anche sul generale contesto socio-economico con la progressiva assenza di sollecitazioni e quindi di quelle condizioni che rappresentano i presupposti perché un paese abbia una presenza sul piano della competizione tecnologica internazionale. L'esistenza di aree brevettuali in qualche misura significative ma non accompagnate da presenze produttive altrettanto consistenti, se apre possibilità teoriche di sviluppo tecnologico, segnala di fatto una sconnessione qualitativa tra gli attori del nostro "siste-

*tendenziale
crescita del
nostro deficit
commerciale
particolarmente
dell'high-tech*

ma innovazione" complessivo. La recente diffusa acquisizione di una necessità di un maggior impegno pubblico e privato in materia di spesa per la R&S, peraltro inoppugnabile, appare tuttora una acquisizione priva di quelle dimensioni strutturali che ne recepiscano gli elementi progettuali, organizzativi e di sistema adeguati al nostro specifico contesto. La stessa dizione di innovazione appare ancora sovente o limitata alle fasi iniziali del processo o coniugata in termini indifferenziati tra acquisto, produzione, consumo e, in molti casi, ancora priva di un riferimento in grado di indicare i riscontri e gli indicatori da assumere per una valutazione di merito.

Questi, a loro volta, sembrano limitarsi ad aspetti relativi alla sola ricerca pubblica all'interno di, peraltro discussi, ripetuti provvedimenti di riforma di questo settore, ininfluenti rispetto alla questione generale del recupero strutturale di un sistema d'innovazione tecnologica del Paese, ma potenzialmente tali da indurre ulteriori ritardi.

In definitiva se le precondizioni per recuperare i livelli di sviluppo medi europei, per quanto riguarda il fattore competitività tecnologica, stanno anche, ma non solo, in una crescita degli investimenti pubblici e privati in R&S, per quelli privati questa precondizione non è facilmente raggiungibile, anzi appare in qualche misura contraddittoria o almeno vincolata dagli elementi strutturali e di specializzazione sopra ricordati, per cui occorre riconsiderare in primo luogo le politiche che determinano l'intreccio tra intervento pubblico e privato.

Le considerazioni da sviluppare partendo da queste osservazioni sono certamente rilevanti dal punto di vista interpretativo ed anche, come accennato, in relazione alle eventuali politiche che si volessero adottare per correggere questo aspetto delle diversità strutturali del nostro sistema produttivo.

Il deficit crescente nei settori ad alta tecnologia dell'Italia con tutte le grandi aree economico-industriali e, in particolare, con l'UE(15) tende a collocare il nostro Paese in una situazione di specializzazione produttiva insostenibile con le condizioni economiche e sociali dell'Unione stessa. Le proiezioni del contesto competitivo internazionale, delle interdipendenze tecnologiche tra settori industriali e tra questi e i Servizi, nonché della struttura dei nostri investimenti, non consente, in assenza di forti modificazioni, di inserire in quelle proiezioni delle ipotesi compensative dei fattori di declino in atto.

Il vecchio modello di sviluppo, un modello peraltro di successo, ha alimentato una serie di condizioni che rappresentano attualmente i vincoli per un cambiamento. I ritardi accumulati, inoltre, accrescono le difficoltà di attuazione di un processo di riallineamento competitivo del Paese, già complesso anche se condotto con le gradualità e le scansioni impiegate da altri paesi industrializzati.

Il diverso andamento dei saldi commerciali assoluti o normalizzati, la diversa capacità innovativa, le diverse interdipendenze tecnologiche del sistema produttivo generale, la diversa consistenza competitiva di partenza, i diversi accumuli di conoscenze scientifico-tecnologici ed imprenditoriali esistenti, nonché le diverse strategie sottese agli Ide in entrata e in uscita, tendono ad evidenziare situazioni molto differenti per i singoli settori high-tech.

In questo senso sembra ragionevole ipotizzare politiche d'intervento in qualche misura orizzontali per un generale miglioramento degli asset scientifico-tecnologici del Paese, ma poi strategie necessariamente calibrate in grado di comprendere e intervenire in base alle specificità sopra ricordate.

necessità di un maggior impegno pubblico e privato nella spesa per R&S

Proprio in relazione alle difficili condizioni di partenza e ai vincoli finanziari comunque esistenti, una particolare valutazione dovrebbe essere dedicata all'analisi dei diversi effetti, in termini temporali, economici e di diffusività sul nostro sistema produttivo, connessi con le eventuali scelte d'intervento verso specifici settori high-tech piuttosto che altri, equilibrando e caratterizzando diversamente tali interventi con quelli di più lungo periodo e, particolarmente calibrando risorse e strutture d'intervento in termini coerenti con le diverse dimensioni critiche e con i riferimenti alle diverse strutture di mercato e ai differenti contesti competitivi internazionali.

Sul piano regionale i cenni di possibili riequilibri territoriali, particolarmente in termini Nord-Sud, che erano stati individuati nel precedente Rapporto, sembrano non trovare riscontri nei più recenti rilevamenti.

Sono evidenti, a questo punto, le possibilità di riequilibri "in basso" in relazione alle perdite di fattori tecnologici comunque concentrati nelle aree del Centro-Nord, a loro volta colpite anche dalle difficoltà di sistemi d'impresa come quelli rappresentati dai "distretti industriali" collocati prevalentemente nel Centro-Nord.

Se gli scenari dei vari paesi sembrano indicare come ogni realtà socio-economica possa, nelle dinamiche innovative potenziali, trovare un suo specifico percorso, questo approccio dovrebbe consentire di individuare anche le condizioni relative alla collocazione del nostro Paese lungo un percorso di sviluppo. Come appare sempre più evidente, l'intreccio tra debolezza tecnologica, vincolo estero e domanda interna, tuttavia, crea nel nostro Paese ostacoli importanti per inserirsi in quel percorso.

Incidono su queste condizioni quelli che sono i vincoli generati da un trascorso modello produttivo di successo ma ormai difficilmente in grado di assicurare un percorso di sviluppo¹², soprattutto alla luce delle tendenze in atto all'interno dell'Unione Europea.

Nel caso italiano, dunque, la difficoltà della situazione sembra suggerire approcci in varia misura innovativi ma certamente complessi, articolati e onerosi.

occorrono
approcci
innovativi,
articolati
e onerosi

Note

[1] Cfr. il cambio euro/dollaro: 1,0658 nel 1999; 0,9236 nel 2000; 0,8956 nel 2001; 0,9456 nel 2002; 1,131 nel 2003.

[2] In merito a questa peculiarità si veda anche (6,7).

[3] Nel caso dell'Italia tali interazioni erano già state individuate, ad esempio, nel caso della analisi della competitività dei comparti produttivi compresi nella voce della "Meccanica Strumentale" (8).

4. MALERBA F., *Economia dell'innovazione*, Carocci, Roma, 2000.

6. ICE- ISTAT, *L'Italia nell'economia internazionale 2002-2003*, Ice, 2003.

7. ICE- ISTAT, *L'Italia nell'economia internazionale 2003-2004*, Ice, 2004.

8. FERRARI S., GUERRIERI P., MALERBA F., MARIOTTI S., PALMA D., *L'Italia nella competizione tecnologica internazionale. La meccanica strumentale*, Franco Angeli, 2001.

9. CONFINDUSTRIA, *Benchmarking delle politiche di agevolazione alla Ricerca e all'Innovazione*, Documenti di lavoro n.1, settembre, 2004.

10. FERRARI S., "Fare ricerca: possibilità e capacità", *Energia, Ambiente e Innovazione*, v. 50, n. 4, ENEA, 2004.

11. FORESTI G., *Specializzazione produttiva e struttura dimensionale delle imprese: come spiegare la limitata attività di ricerca dell'industria italiana*, Wp. 32, Centro Studi Confindustria, dicembre 2002.

12. TONIOLO G., "L'Italia verso il declino economico?", in AA.VV. (a cura di), *Il declino economico dell'Italia. Cause e rimedi*, Bruno Mondadori, 2004.

Bibliografia

1. FREEMAN C., *Economics of Industrial Innovation*, MIT Press, Cambridge MA, 1974.
2. MOMIGLIANO F., *"Innovazione tecnologica, commercio internazionale e investimenti diretti esteri: vecchi e nuovi problemi di ricerca empirica"* in MOMIGLIANO F., DOSI G., *Tecnologia e organizzazione industriale internazionale*, Il Mulino, Bologna, 1982.
3. NELSON R.R., WINTER S. G., *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, 1982.

Ricordo di Pietro Metalli

di Roberto Cervellati

Per alcuni il titolo di professore può anche avere il sapore di *status symbol*, l'apice della carriera. Per lui no. Non credo di averlo mai sentito dire una sola volta, per esempio al telefono: "Sono il professor Pietro Metalli". Mai. Lui lo era dentro. Per Pietro imparare, conoscere, insegnare erano verbi con la maiuscola. Ed era sempre stato così - molto prima cioè che lo conoscessi - in tutta quella parte di vita che prepara alla professione vera e propria.

Alla maturità scientifica, che conseguì nel liceo della natia Rimini, ottenne pieni voti. La laurea, in Medicina e Chirurgia all'Università di Pavia, fu con la lode. E subito dopo seguì la specializzazione, in Anestesia. Eravamo nel 1958, l'Italia del dopoguerra aveva ormai rimarginato le sue ferite, Pietro aveva 27 anni. Era stato per tutto il corso di laurea ospite dall'Almo Collegio Borromeo, di Pavia appunto, e facevano parte di quella nidia anche Giovanni Silini e Andrea Merelli, altri personaggi di prim'ordine che Pietro avrebbe poi nuovamente incontrato più avanti, per essere nuovamente colleghi.

Dopo la specializzazione, non nuovo a graduatorie che lo vedevano molto in alto, Pietro vinse una borsa di studio del Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari (quel CNRN, che doveva poi trasformarsi in CNEN e in ENEA), si recò, con borsa di studio della Rotary Foundation International e borsa di viaggio Fullbright, negli Stati Uniti e qui, all'Università di Rochester, conseguì il diploma di Master of Science: in radiobiologia e fisica sanitaria.

Numerosi e vari sono stati i temi di ricerca affrontati da Pietro Metalli mentre nei primi anni dopo la laurea i suoi interessi si spostavano dalla medicina *tout court* alla fisiologia e alla radiobiologia.

Da giovanissimo aveva lavorato sulla tossicologia degli anestetici, sull'ipotermia, sulla fisiologia del cuore *in vitro*. Poi, a Rochester, sulla dosimetria beta con impiego di pellicola fotografica, un tema allora di grande interesse applicativo. Successivamente si dedicò a uno studio, alquanto esauriente, sugli effetti sia somatici che genetici indotti dalle radiazioni. Lo studio era condotto presso l'Istituto di Genetica dell'Università di Milano e gli animali da esperimento erano per lo più gamberetti della specie *Artemia Salina* ottenuti da apposite colture di laboratorio, esse stesse parte della ricerca.

Successivamente Pietro Metalli si spostò a Roma, al Centro Ricerche ENEA della Casaccia, e qui sarebbe rimasto fino al momento di andare in pensione. Questo lungo periodo, oltre trent'anni, va esattamente dal 1963 al 1997. Vennero dapprima continuati i lavori di radiobiologia sull'*Artemia*, poi quantizzati alcuni effetti delle radiazioni sui topi con particolare riferimento alla carcinogenesi, e infine studiate le alterazioni del numero dei cromosomi indotte sia dalle radiazioni che da alcune sostanze tossiche.

All'inizio di questo periodo Metalli conseguì la libera docenza in Radiobiologia (1967) e presto il suo gruppo di ricerca al CNEN/ENEA crebbe di consistenza, superando il centinaio di persone, e si arricchì di competenze, spaziando esse dalla salute dell'uomo a quella dell'ambiente.

Dal 1975 al 1980 fu Direttore del Laboratorio di Radiopatologia, tra 1980 e il 1984 fu Direttore della Divisione di Radioprotezione (riorganizzata nel 1982 come Divisione di Fisica e Scienze Biomediche) e tra il 1983 ed il 1987 Direttore della Divisione di Scienze Ambientali.

Pietro Metalli ha rappresentato in sostanza uno dei pezzi importanti tra quelli che il CNEN/ENEA ha potuto per anni schierare sulla scacchiera, vale a dire inserire nelle caselle chiave del proprio organigramma. E qui Pietro ha messo a profitto la sua indole equilibrata, accomodante, comprensiva verso gli altri. È noto che gli impegni amministrativi, i quali di norma accompagnano la maturità dei ricercatori, vanno a detrimento delle attività scientifiche, se non altro quelle condotte in prima persona. E' stato questo anche il caso di Pietro, inevitabilmente, senza però che ne venisse soffocata l'attitudine. Pietro ha continuato a documentarsi sempre e su tutto, con acume e insaziabile curiosità, e con il piacere di trasferire agli altri.

Eppure quest'uomo dai mille interessi non aveva alcun vero interesse per le cose materiali. Da dove gli veniva questo approccio, per così dire, filosofico? Forse da una disinvoltata accettazione di quel binario su cui cammina il mondo? E questa accettazione, a sua volta, dalla conoscenza, tante volte constatata in laboratorio e sui libri, delle leggi della materia vivente?

Due donne gli sono state compagne della vita. Entrambe erano anche compagne sul lavoro. Dalla prima unione sono nati Francesco e Guido; e ad essi, rimasti prestissimo senza mamma, Pietro ha saputo essere insieme, e in modo esemplare, padre e madre. Dalla seconda unione è nata Giulia, oggi studentessa universitaria.

Pietro ha concluso la sua attività all'ENEA nel 1997, avendo ancora ricoperto, dopo i vari incarichi direzionali, quello di Consigliere Scientifico presso la Direzione del Dipartimento Ambiente; e in tale posizione rappresentando l'Ente presso numerose associazioni e comitati scientifici, nazionali e internazionali. Negli ultimi dieci anni, Pietro Metalli è stato anche prezioso collaboratore nel Comitato di Redazione di *Energia, Ambiente e Innovazione*.

Pietro Metalli è morto nel marzo di quest'anno. Si è trattato di una breve malattia, che fin dall'inizio si era presentata come una cosa seria. In quelle settimane Pietro ne parlava non certo con indifferenza, ma con il distacco e insieme la competenza di un medico che discutesse di un recente caso capitatogli in corsia. E poco dopo, in punta di piedi e con il suo stile fatto di semplicità, il professore ci ha salutato. Lasciandoci dunque anche quest'ultimo insegnamento. ■

Nuovi scenari per il calcolo ad alte prestazioni

VITTORIO ROSATO¹
PAOLO PALAZZARI¹
ALESSANDRO MARONGIU²
ENEA

¹Servizio di Calcolo e Modellistica

²Servizio Centralizzato
Informatica e Reti



La modellistica dei sistemi complessi continua a definire nuovi oggetti di studio e l'informatica avanzata dovrà sostenerne l'impatto. Le architetture dedicate, con l'utilizzo di logiche programmabili, sono le architetture delle piattaforme di calcolo che meglio potranno far fronte a queste nuove sfide

New scenarios for high performance computing

Abstract

High performance computing relies on computing platforms whose main features are designed to meet the needs of commercial applications, not scientific ones. This fact has produced a gap between the theoretical computing power of available platforms and the power actually employed in scientific applications. While advances in many scientific domains are producing new models with enhanced predictive capabilities, computing platforms seem unable to follow suit with increases in the effective computing power needed to sustain such models. The scientific community has designed and implemented new strategies for high performance computing, including the assembly of huge computing platforms to deal with problems requiring strong parallelism and large memory allocation, the "global computing farm". This article reviews current high performance computing problems and architectures, and presents novel strategies adopted to cope with the low specificity of current architectures for scientific applications.

studi & ricerche

L'approccio computazionale è uno dei pilastri sui quali si basa la ricerca scientifica. Esso consiste nello sviluppo di modelli computabili, derivati da quelli teorici, e nella loro elaborazione per verificare se le previsioni che essi consentono di effettuare corrispondano a quanto noto sperimentalmente. Questo aiuta a comprendere se gli elementi introdotti nel modello siano o meno in grado di riprodurre tutta la complessità del sistema in esame, consentendo un *feedback* sul modello volto a migliorarne la rispondenza con il sistema reale che deve riprodurre (*gedanken experiment*).

Nell'approccio computazionale, un particolare sistema (una proteina, il clima su una particolare regione del globo, un ammasso stellare, la rete internet ecc.) viene descritto attraverso un "modello" matematico che ne definisce le componenti elementari e le interazioni reciproche, cercando di riprodurre il comportamento globale. La realizzazione e l'elaborazione di modelli predittivi è una misura della capacità della scienza di enucleare, dalla complessità dei problemi, le ragioni profonde dei comportamenti dei fatti che con essi possono essere rappresentati.

Una ulteriore valenza dei modelli è quella di consentire la predizione di nuovi fenomeni, oltre che la riproduzione di quelli noti. Questo è il caso, ad esempio, dei modelli di circolazione atmosferica che, a partire da condizioni iniziali, sono in grado di prevedere l'evoluzione della fenomenologia su diverse scale di tempi (previsioni meteo); è il caso dei modelli atomistici che riescono a riprodurre, con grande accuratezza, il comportamento di specifiche classi di materiali in svariate condizioni termodinamiche.

I modelli consentono, inoltre, l'accesso all'osservazione di comportamenti non direttamente accessibili nella realtà sperimentale, sia per l'impossibilità di riprodurre particolari condizioni, sia per l'i-

nadeguatezza delle tecniche sperimentali ad accedere ad informazioni e misurazioni di specifiche proprietà: si pensi alla simulazione di modelli per la descrizione del comportamento all'interno di una stella oppure alla riproduzione del comportamento di una proteina su scale di tempo dell'ordine di frazioni di picosecondo.

I modelli consentono, infine, di studiare analiticamente il comportamento di sistemi complessi a fronte di cambiamenti controllati su una o più componenti; si consideri, ad esempio, l'utilizzo dei modelli matematici nel *design* industriale, la progettazione di motori, di telai e la loro modifica sulla base dei risultati dei *crash-test* simulati. In questo senso, i modelli consentono di aumentare l'insieme di dati disponibili per effettuare interpretazioni corrette della realtà.

Lo sviluppo di modelli accurati di sistemi complessi ha avuto inizio ben prima dello sviluppo dei moderni calcolatori e della disponibilità di elevate potenze di calcolo; tuttavia, solo l'avvento dei moderni strumenti di calcolo è riuscito a renderli operativi e funzionali. Ad esempio, si pensi alle predizioni quantitative effettuate dai modelli quantistici dei sistemi atomici diversi dall'idrogeno; malgrado la teoria sia stata sviluppata nella prima metà del secolo scorso, solo negli ultimi 10-15 anni questi modelli hanno potuto essere simulati, a causa della impossibilità a compiere le operazioni matematiche necessarie al loro completamento con piattaforme computazionali di bassa capacità elaborativa. Ancora oggi, l'applicazione di modelli quantistici a sistemi atomici anche semplici come le molecole d'acqua richiede impressionanti potenze di calcolo¹.

Un ulteriore esempio è quello dei modelli per la previsione meteorologica su scala locale; anche in questi casi l'uso di modelli predittivi richiede la disponibilità di sistemi di calcolo di elevata poten-

za, in maniera da avere, a partire dalle osservazioni correnti, una previsione accettabile prima che l'oggetto stesso della previsione si avveri. Se, da un lato, la meteorologia su scala locale ha avuto un suo enorme sviluppo negli ultimi 10-20 anni tanto da essere attualmente effettuabile anche da gruppi privati, dall'altro hanno iniziato a svilupparsi simulazioni su larga scala e su scale di tempo lunghe, allo scopo di riprodurre (ed, eventualmente, predire) variazioni globali sul clima a livello dell'intero pianeta (climatologia computazionale)^{2,3}.

Lungi dall'aver esaurito la sua spinta propulsiva, la modellistica dei sistemi complessi continua a produrre nuove idee e a definire nuovi oggetti di studio; malgrado il rilevante aumento delle potenze di calcolo disponibili, dovuto ai progressi della tecnologia del silicio e delle architetture hardware, vi sono aree applicative per le quali le attuali potenze di calcolo risultano essere ancora sotto-dimensionate.

Il caso forse maggiormente noto, a questo proposito, è quello del "*protein folding*" ovvero della formulazione e simulazione di modelli che consentano la predizione della struttura tridimensionale assunta da una proteina a partire dalla sola conoscenza della sua sequenza amminoacidica. La rilevanza scientifica di questo problema risiede nel fatto che la funzione di una proteina è collegata, in larga misura, alla sua struttura tridimensionale; la conoscenza di questa consentirebbe, dunque, di predire, con buona accuratezza, la sua funzione. In questo caso, la tendenza è quella di utilizzare modelli atomistici (fatti di atomi ed elettroni interagenti) che, sulla base delle sole leggi della meccanica quantistica, fossero in grado di predire la forma più stabile assunta dall'insieme di atomi ed elettroni specificato dalla composizione di amminoacidi della proteina. La proteina si forma dal DNA attraverso una

catena complessa di eventi⁴; dal punto di vista strutturale essa si trasforma, da una situazione iniziale di sequenza lineare di aminoacidi, nella sua struttura di equilibrio in tempi dell'ordine del millisecondo o di una frazione di esso. È possibile, a questo punto, cogliere la complessità del problema computazionale associato alla simulazione di questa classe di modelli allorché si confronti questo tempo con i tempi caratteristici delle interazioni atomiche ($\sim 10^{-15}$ secondi). I codici di simulazione devono, dunque, "riprodurre" il comportamento della proteina per un tempo dell'ordine di 10^{-3} secondi valutando le proprietà fisiche (e la dinamica) di tale sistema ogni 10^{-15} secondi, cioè per circa 10^{12} volte. Una ragionevole stima del tempo di calcolo dell'energetica di una proteina con 2000 atomi (una piccola proteina) su una piattaforma di calcolo monoprocesso (un PC di ultima generazione, ad esempio) è compresa tra un minimo di pochi secondi e diverse ore (a seconda del grado di accuratezza del modello che viene utilizzato per il calcolo). Avremo, quindi, un tempo di calcolo complessivo della simulazione compreso tra 10^{12} e 10^{16} secondi. In termini più comprensibili quel calcolo verrebbe eseguito dal PC in un tempo non inferiore ai 12 milioni di anni! L'apparente "modestia" della piattaforma di calcolo impiegata non deve trarre in inganno: se, invece di un PC, avessimo a disposizione la più potente architettura di calcolo attualmente disponibile, ammettendo di utilizzarla al massimo della sua potenza, riusciremmo a ridurre il tempo di calcolo di un fattore 10^4 ; il tempo totale sarebbe ancora dell'ordine di qualche migliaio di anni!

Altri problemi scientifici, in diversi settori applicativi, manifestano la parziale inadeguatezza degli strumenti di calcolo attualmente disponibili. In questi settori, la soluzione di problemi computazionalmente intensi è stata spesso affrontata

attraverso la realizzazione di esperienze tecnologiche diverse, volte a superare l'inadeguatezza della tecnologia corrente o, più semplicemente, per migliorare il rapporto costo/prestazioni delle piattaforme della necessaria potenza. L'idea alla base di queste esperienze è che i sistemi di calcolo convenzionali, supportando virtualmente l'esecuzione di qualsiasi algoritmo, funzionano con efficienza mediamente accettabile su tutte le applicazioni, non riuscendo però ad usare la potenza di calcolo disponibile su (quasi) nessuna applicazione.

Rinunciando alla generalità, è possibile progettare architetture di calcolo che, per una data tecnologia, forniscano prestazioni elevatissime per una classe di problemi e, al contempo, efficienze bassissime su tutte le altre tipologie di problemi. È questo il caso, ad esempio, della modellizzazione di sistemi gravitazionali (come ammassi di stelle o sistemi "mistici" formati da materia stellare e gas) per lo studio delle evoluzioni su scala galattica e cosmologica dell'universo, della generazione di sistemi massivi, quali *black-holes* ecc.; in questo ambito sono state concepite e realizzate piattaforme di calcolo "dedicate"⁵ (progetto GRAPE), vale a dire appositamente progettate per sostenere la classe dei problemi computazionali modellabili come sistemi *n-corpi*.

Recentemente, l'utilizzo di questa classe di piattaforme ha consentito di attribuire segnali specifici provenienti da una regione galattica al processo di formazione di un *black-hole*⁶. La stessa situazione si è verificata nell'ambito della Cromodinamica Quantistica su reticolo (LQCD) che ha portato alla realizzazione di diverse architetture specializzate, quali la Columbia QCD negli USA⁷ e la filiera delle macchine APE, in Italia, da parte dell'INFN⁸. Queste, ed altre, sfide computazionali che richiedono enormi potenze di calcolo (spesso non ancora accessibili) costituiscono una

regione di confine della scienza denominata *Grand Challenge* (grandi sfide) perché, benché costituita da problemi computazionali ben posti e basati su modelli noti da anni, rappresenta ancora oggi una sfida alla capacità dell'uomo di produrre strumenti ed algoritmi di calcolo adeguati a conoscere i risultati e le previsioni che tali modelli sono in grado di produrre.

Sebbene la soluzione di questi problemi computazionali sia un fatto di grande rilevanza per la scienza e la tecnologia, il problema che rende necessaria, al più presto, l'ideazione e la realizzazione di metodi e di strumenti nuovi e più potenti per il calcolo ad alte prestazioni non riguarda solo questo ambito ma considera l'emergere di un nuovo paradigma per la scienza.

Per comprendere meglio le ragioni del cambio epocale del paradigma scientifico, ripercorriamo, come esempio, l'analisi di quanto sta accadendo nel settore delle *Life Sciences*. In questo settore è iniziata, negli ultimi 5-10 anni, una vera e propria rivoluzione che investirà (sia sul piano dei risultati ma anche, e soprattutto, sul piano dei metodi) molti altri ambiti, a partire dalle nanotecnologie e dalla scienza dei materiali. Nei secoli scorsi, la biologia ha compiuto uno dei suoi massimi sforzi riduzionistici, riuscendo a parcellizzare la realtà fino alla definizione dei modelli di oggetti su scala atomica. Il DNA, le proteine sono attualmente modellizzabili sulla scala atomica, vale a dire su una scala al di là della quale non ha più senso una ulteriore riduzione del modello, al fine di migliorare la riproduzione dei fatti sperimentali. In questa scala, gli elementi del modello microscopico (atomi e elettroni) non sono più ulteriormente divisibili e sono, quindi, da considerarsi come oggetti "elementari". A questo punto la biologia ha intrapreso il cammino inverso a quello riduzionistico: sta iniziando una lenta operazione di

ricomposizione della realtà macroscopica, attraverso la composizione dei modelli degli oggetti "elementari" e, a patto di stabilirne interazioni e ricostruire, in una sorta di sistema gerarchico *bottom-up*, tutti i sistemi viventi (dai comparti cellulari all'intera cellula fino agli oggetti macroscopici come gli organi). Questo ambito della biologia ha originato una branca nota come *Systems Biology* (biologia dei sistemi) nella quale l'operazione di ricomposizione è rivolta, in prima istanza, alla realizzazione di un modello "in silico" della cellula a partire dalla descrizione atomistica accurata delle singole proteine in essa contenute e delle reazioni chimiche che ne governano il comportamento⁹. In questo senso, la cellula viene vista come un sistema complesso cui vengono applicate tutte le metodiche di studio dei sistemi complessi. In ultima analisi, la *Systems Biology* prevede la realizzazione di modelli di sistemi cellulari nei quali la singola unità sarà rappresentata dalla singola proteina modellizzata nella sua scala microscopica: dovremo dunque confrontarci con una classe di problemi di elevata complessità computazionale nei quali la complessità delle singole entità sarà pari a quella dell'intero sistema.

Questo approccio che tende a vedere i sistemi "reali" come sistemi "complessi"¹⁰, descritti da modelli più o meno riduzionisti, si sta diffondendo molto rapidamente in altri settori, dalle scienze sociali all'ingegneria dei sistemi. Questi settori potranno beneficiare, a loro volta, di schemi e modelli presi in prestito dalla biologia e dai modelli di sistemi viventi e ci proporranno, quanto prima, una serie di ulteriori formidabili problemi computazionali da risolvere.

Gli scenari attuali

Negli corso degli anni i progettisti di architetture di calcolo* hanno cercato di

fornire risposte adeguate alle istanze provenienti dai settori della ricerca e della tecnologia che richiedono elevate potenze di calcolo. Le architetture di calcolo dei cosiddetti sistemi *general purpose* si basano su un'organizzazione, più o meno standardizzata, di blocchi base di tipo commerciale (microprocessori, moduli di memoria, sistemi di I/O). Progettare una nuova architettura di calcolo significa cambiare, in maniera più o meno profonda, la tipologia e il numero, e le modalità di interconnessione, degli elementi inseriti nell'insieme dei blocchi base. Il calcolo parallelo, sviluppatosi in maniera significativa a partire dalla seconda metà degli anni 80, è stato il tentativo della *Computer Science* di dare una risposta alla domanda crescente di potenza di calcolo proveniente non solo dai citati settori della ricerca di base ma, in particolare, da quelli militari e industriali.

L'impiego del parallelismo, ossia dell'esecuzione contemporanea di più azioni, è stata, ed è tuttora, la via principalmente perseguita per incrementare le prestazioni dei sistemi di calcolo. Il parallelismo si può estrinsecare in modalità differenti:

- a) esclusivamente nel dominio dei dati, quando una medesima istruzione è eseguita contemporaneamente su dati differenti. Soprattutto negli anni 80, sono state sviluppate architetture di calcolo basate su tale paradigma; in riferimento al loro funzionamento, tali architetture di calcolo furono denominate SIMD (*Single Instruction, Multiple Data*)¹¹;
- b) nel dominio del tempo, quando una sequenza di n operazioni deve essere ripetuta, in maniera iterativa e indi-

* Un' architettura di calcolo è individuata:

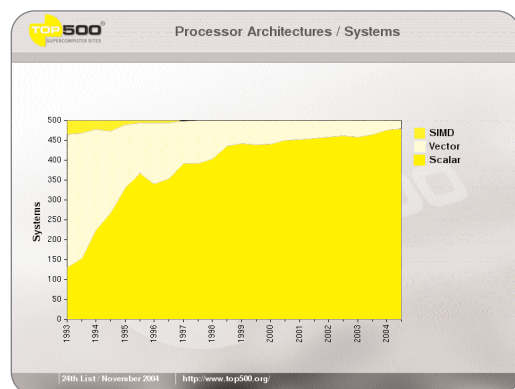
a) dai blocchi base che costituiscono (unità di calcolo logico/aritmetica, unità di calcolo floating point, banchi di registri, unità di accesso alla memoria, moduli di ingresso/uscita ecc.);
b) dalla topologia e dalle tipologie delle interconnessioni tra tali blocchi.

pendente, un numero elevato di volte. Le differenti operazioni sono sovrapposte, avendo ognuna una fase di avanzamento differente: la i -ma iterazione vedrà in esecuzione la prima istruzione, la $(i+1)$ -ma iterazione la seconda istruzione, ..., la $(i+n-1)$ -ma iterazione vedrà in esecuzione la n -ma istruzione. Tale tipo di parallelismo, che ricalca il funzionamento di una catena di montaggio, è comunemente indicato con il termine di *pipeline*;

- c) nel dominio funzionale e dei dati, quando differenti operazioni sono eseguite, contemporaneamente, su dati differenti. È il tipo di parallelismo più generale e i sistemi che lo implementano sono normalmente denominati di tipo MIMD (*Multiple Instructions, Multiple Data*)¹¹.

La decomposizione del singolo algoritmo di calcolo in moduli di calcolo paralleli e cooperanti rende necessaria la presenza di una struttura di interconnessione tra gli elementi dell'architettura sui quali la computazione viene effettuata. La presenza dei processi di comunicazione, necessari per lo scambio di informazioni e per la sincronizzazione dei moduli paralleli costituenti l'algoritmo, riduce l'efficienza del sistema consentendo il dispiegamento di una potenza di calcolo complessiva, in genere, molto inferiore a quella realmente disponibile (pari alla somma delle potenze di calcolo di tutti gli elementi architetturali sui quali la computazione è stata frazionata).

Figura 1
Trend delle architetture dei processori sulle quali si basano le principali installazioni di calcolo ad alte prestazioni. Dati relativi al periodo novembre 1993 - novembre 2004¹²



Le soluzioni per il calcolo parallelo fornite dalla tecnologia, tuttavia, sono state, in varia misura, basate sull'utilizzo o lo sviluppo di strumenti dell'informatica di base. È stato già autorevolmente affermato come, nell'ultima decade del secolo scorso, le piattaforme parallele per il calcolo ad alte prestazioni siano state principalmente basate su opportune rivisitazioni e implementazioni degli strumenti di calcolo di largo consumo (i cosiddetti componenti COTS, *commodity-off-the-shelf*). Questa affermazione può essere sostanziata analizzando le quote complessive delle architetture parallele per il calcolo ad alte prestazioni che hanno offerto soluzioni direttamente derivate dall'assemblaggio di prodotti COTS tramite reti di interconnessione di varie caratteristiche e prestazioni. Si considerino, a questo proposito, i *trends* delle tipologie delle architetture di calcolo impiegate su queste installazioni (figura 1). Tali dati possono essere evinti dall'analisi delle architetture che costituiscono la lista "Top500"¹² che censisce, due volte l'anno, le maggiori installazioni di calcolo su scala mondiale, offrendone tutti i dati tecnici ed elaborando i dati raccolti per scorgere le tendenze più interessanti sul versante tecnologico.

Nella figura 1 è stata riportata la variazione negli anni del numero di sistemi (sui 500 della lista) basati su processori *super-scalari*, su processori *vettoriali* e su architetture di tipo SIMD. I processori ad architettura *super-scalare* sono quelli sui quali si basano le architetture di calcolo di base (i PC, ad esempio). Questi processori sono di tipo "generalistico" in quanto consentono un buon compromesso tra costo e prestazioni in un ampio spettro di domini applicativi (vedi Appendice A); come denotato dal loro nome, i processori *super-scalari* sono grado di iniziare l'esecuzione di più di un'istruzione ad ogni ciclo di *clock*. I processori *vettoriali*, a fronte di una maggiore com-

plessità architetturale e di maggiori costi, consentono il trattamento simultaneo di una maggior quantità di dati (vedi Appendice A). Le architetture SIMD sono architetture speciali che impiegano processori appositamente progettati. Come si evince dalla figura 1, la tecnologia dei processori *super-scalari* ha praticamente soppiantato la tecnologia vettoriale che pure nel 1993 deteneva il quasi monopolio delle installazioni di calcolo ad alte prestazioni. Il decennio descritto ha visto l'esplosione dell'informatica di base e della predominanza dei processori per *personal computers* la cui tecnologia ha influenzato profondamente e spinto al cambiamento anche la tecnologia nel settore del calcolo avanzato. Questo fatto ha reso i processori COTS sempre più competitivi per il rapporto costo/prestazioni, determinando la tendenza precedentemente descritta.

Le piattaforme parallele, attualmente disponibili, utilizzano queste due classi di processori (i *super-scalari* e i *vettoriali*) che, opportunamente combinati ed interconnessi, danno origine a tre tipologie di macchine:

- 1) macchine parallele a memoria condivisa (*shared memory*): tutti i nodi di calcolo accedono ad un'unica struttura di memoria (eventualmente organizzata in moduli indipendenti accessibili contemporaneamente) (figura 2);
- 2) macchine parallele a memoria distribuita (*distributed memory*): ciascun nodo di calcolo (tipicamente costituito da 1-4 processori) accede esclusivamente alla propria memoria; ai dati contenuti nelle memorie degli altri nodi si accede tramite una rete di comunicazione che si fa carico del trasporto dei dati tra i nodi di calcolo (figura 3);
- 3) macchine parallele ibride: la memoria complessiva è suddivisa in moduli disgiunti, a ognuno dei quali accedono più processori (≥ 8), come nelle

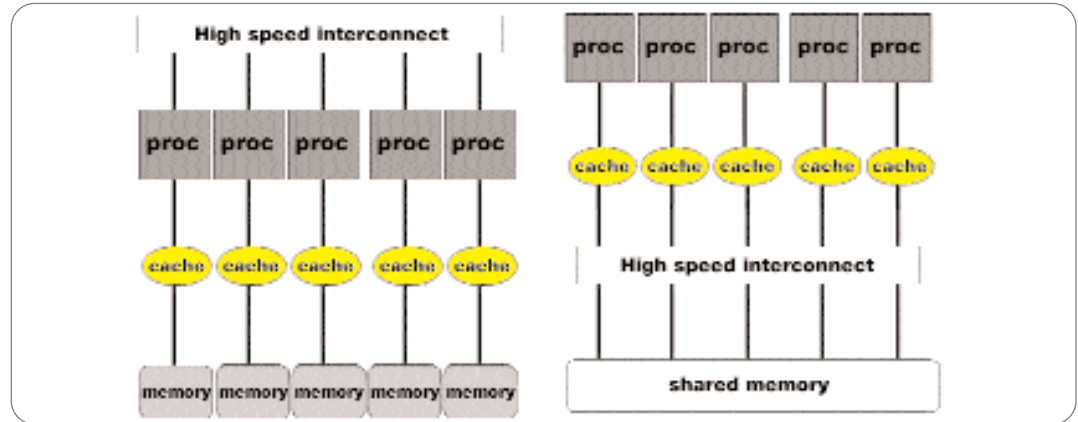
architetture a memoria condivisa; un nodo accede ai dati contenuti nei moduli di memoria differenti dal proprio tramite una rete di interconnessione, secondo la modalità di funzionamento tipica delle macchine a memoria distribuita.

Chiaramente, le architetture di tipo (3) sono concettualmente assimilabili a quelle di tipo (2), in quanto in entrambi i casi si è in presenza di una partizione della memoria fisica in moduli distinti, ognuno accessibile in parallelo da più processori. Nel caso di architetture di tipo ibrido, però, la porzione di parallelismo presente all'interno del nodo di calcolo (costituito tipicamente da 16-32 processori) è significativamente superiore a quella presente nel nodo di calcolo delle architetture a memoria distribuita (costituito tipicamente da 2-4 processori).

In accordo alla organizzazione architetturale dei processori, dire che "un processore accede alla memoria" è una forma abbreviata e semplificata per affermare che "un processore accede alla sua gerarchia di memoria" – intendendo con gerarchia di memoria un insieme di moduli di memoria di dimensioni via via crescenti e caratterizzati da tempi di accesso crescenti; il contenuto dei livelli più esterni viene trasferito ai livelli più interni per essere usato ed, eventualmente, aggiornato. In generale, il processore accede solo al livello più basso della gerarchia di memoria – caratterizzato da un bassissimo tempo di accesso – e, nel caso che il dato richiesto non sia presente, si propaga una richiesta di trasferimento verso i moduli di memoria ai livelli più esterni. Le macchine parallele a memoria condivisa e di tipo ibrido condividono solo i livelli più esterni della gerarchia di memoria e mantengono distinti – e privati – i livelli più bassi della gerarchia imponendo, di conseguenza, l'adozione di opportuni protocolli per garantire la coerenza dei dati presenti nei

Figura 2

Principali architetture di piattaforme di calcolo parallele: piattaforme a memoria distribuita (sinistra) contenenti processori (proc), dotati di memoria (memory) e da eventuali data-cache locali, interconnessi attraverso una rete di comunicazione (interconnect). A destra, lo schema di una architettura a memoria condivisa dove i processori attingono ad un unico banco di memoria



livelli più interni della gerarchia con quelli contenuti nei livelli più esterni.

La gestione dell'allocazione dei dati in memoria, la loro continua migrazione attraverso la gerarchia di memoria, l'eventuale mancanza dei dati nelle memorie più interne al momento in cui devono essere processati, la necessità di bloccare (e quindi svuotare) la *pipeline* di calcolo del processore per dipendenze (di dato o di controllo) tra le istruzioni sono fattori che rendono molto difficile l'utilizzazione di tutta la potenza di calcolo disponibile, anche a livello di singolo processore.

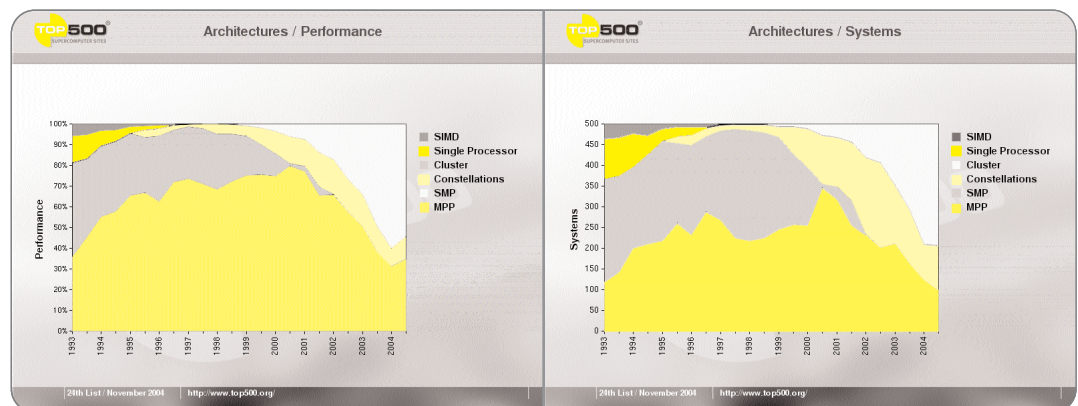
Questi problemi, come gli altri legati alle prestazioni delle reti di interconnessione, concorrono a ridurre l'efficacia con la quale le attuali piattaforme di calcolo possono essere utilizzate.

La totalità delle architetture parallele di grandi dimensioni attualmente installate sono a memoria distribuita: esse sono, infatti, formate dall'interconnessione di

nodi multi-processore a memoria condivisa che, nella nomenclatura adottata nei Top500, sono indicate come *cluster* (macchine a memoria distribuita) e *constellation* (macchine ibride). Nel caso dell'attuale classifica Top500 le prime posizioni sono detenute dai sistemi di calcolo descritti nella figura 4. Benché, come si vede dalla figura 3, i sistemi basati su processori *super-scalari* dominino il panorama attuale, la terza posizione della classifica è dominata dall'installazione denominata *Earth Simulator* basata su processori *vettoriali* NEC, installata in Giappone e adibita prevalentemente a studi climatici¹³. Dalla figura 4 è possibile definire una efficienza computazionale con la quale queste installazioni possono essere utilizzate, calcolando il rapporto tra R_{max} e R_{peak} (dove R_{max} e R_{peak} sono, rispettivamente, la potenza dell'installazione effettivamente misurata su una specifica classe di test e la sua potenza "nominale"). Come si può notare, nelle

Figura 3

Trend relativi alle architetture delle principali installazioni di calcolo; a sinistra la frazione della potenza complessiva delle TOP 500 distribuita sulle differenti architetture parallele. A destra, il numero di installazioni delle varie architetture. Dati relativi al periodo - novembre 1993 - giugno 2004¹²



| Rank | Site Country/Year | Computer/Processor Manufacturer | R_{\max} R_{peak} |
|------|--|--|---------------------------------|
| 1 | IBM/DOE United States/2004 | BlueGene/L beta-System BlueGene/L DD2 beta-System (0,7 GHz PowerPC 440) / 32768 IBM | 70720 91750 |
| 2 | NASA/Ames Research Center/NAS United States/2004 | Columbia SGI Altix 1,5 GHz, Voltaire Infiniband / 10160 SGI | 51870 60960 |
| 3 | The Earth Simulator Center Japan/2002 | Earth-Simulator / 5120 NEC | 35860 40960 |
| 4 | Barcelona Supercomputer Center Spain/2004 | MareNostrum eServer BladeCenter JS20 (PowerPC970 2,2 GHz), Myrinet / 3564 IBM | 20530 31363 |
| 5 | Lawrence Livermore National Lab. United States/2004 | Thunder Intel Itanium2 Tiger4 1,4 GHz - Quadrics / 4096 California Digital Corporation | 19940 22938 |

Figura 4
Principali installazioni di calcolo al giugno 2004: nella terza colonna il nome dell'installazione, il numero dei processori e la tipologia dei processori e la marca della piattaforma. Nella quarta colonna la potenza massima (espressa in Gflops) sostenuta sulla suite di algebra lineare Linpack (R_{\max}) e la potenza teorica della piattaforma (sempre in Gflops) ottenuta sommando la potenza dei singoli processori (R_{peak})¹²

piattaforme descritte in figura 4 questo rapporto varia tra 0,88 (detenuto dalla macchina vettoriale in prima posizione) a 0,64. I valori riportati devono essere considerati come valori massimi delle efficienze computazionali con cui tali sistemi sono in grado di effettuare computazioni alla loro massima potenza (i.e. utilizzando tutti i processori). I codici di calcolo dei modelli di sistemi complessi a cui ci si riferiva precedentemente (clima, proteine ecc.) riescono ad essere eseguiti, su grandi installazioni di calcolo, con valori di efficienza computazionale dell'ordine di $0,1 \div 0,2$.

Le macchine vettoriali, caratterizzate da costi sensibilmente superiori rispetto a quelle basate su processori super-scalari, sono utilizzate con efficienze computazionali maggiori grazie alla elevata banda di comunicazione tra i processori e la memoria. L'elevata efficienza computazionale rende ancora competitiva sul mercato (malgrado i costi) questa classe di installazioni.

Oltre a mostrare bassi tassi di efficienza computazionale, i grandi sistemi di calcolo "soffrono" di un ulteriore problema: la necessità di enormi potenze elettriche per il funzionamento, grandi a tal punto da configurare un *trend* non facilmente sostenibile in futuro, anche con previsioni di tassi di crescita "con-

servativi" delle potenze di calcolo. Consideriamo il dato relativo al consumo elettrico medio di queste piattaforme per il processamento di una data quantità di informazione. Se definiamo come ξ il rapporto tra la potenza dissipata ed R_{\max} (definito in precedenza) abbiamo una progressione temporale di questo valore da $\xi=30$ kW/GFlop nel 1991 a $\xi=0,46$ kW/GFlop nel 1999¹⁴. Questo valore non è stato ridotto sostanzialmente negli ultimi 4-5 anni, configurando una sorta di effetto di saturazione. Se così fosse, una piattaforma che volesse raggiungere il prossimo *target* di potenza computazionale, il PetaFlops (un milione di miliardi di operazioni in virgola mobile al secondo) avrebbe bisogno di una potenza di alimentazione superiore ai 460 MW.

Queste ed altre considerazioni spingono gli esperti del settore ad un ripensamento delle soluzioni tecnologiche da adottare nei prossimi anni, prima, cioè, che possano intervenire eventuali radicali cambiamenti che consentano modificazioni dell'assetto attuale, basato sostanzialmente sulla tecnologia del silicio. Alcune metodologie e strumenti per il calcolo avanzato, proposti dalla comunità scientifica per superare queste oggettive difficoltà, vengono descritti nel seguito.

Il futuro (quello immediato e oltre)

L'attuale tecnologia è in grado di proporre una serie di soluzioni ai problemi computazionali più complessi; queste, tuttavia, devono essere accuratamente scelte sulla base del problema stesso (la sua forma algoritmica, la quantità di dati che deve processare, la riducibilità del problema a problemi minori più o meno debolmente interagenti ecc.).

Ai massimi livelli di intensità computazionale, infatti, le soluzioni disponibili possono essere in alcuni casi estremamente costose, in altri di complessa messa in opera, in altri ancora di complessità comparabile al problema stesso che si intende risolvere. È quindi necessario, per ogni classe di problemi da risolvere, dotarsi dell'architettura di calcolo che meglio risponde alle esigenze computazionali da soddisfare.

Nel seguito descriveremo quali siano le classi dei problemi-modelli e le soluzioni tecnologicamente avanzate che completano la "copertura" all'offerta costituita dalle grandi piattaforme parallele di cui si è detto, in termine di pregi e difetti, nei paragrafi precedenti.

GRID

Una estensione "naturale" al concetto di sistema di calcolo a memoria distribuita è quella di immaginare una piattaforma di calcolo i cui elementi computazionali siano sparsi su una rete locale (LAN) o su una rete globale (WAN) e la cui interconnessione sia costituita dalla stessa rete internet. In questo modo avremo definito "logicamente" una architettura di calcolo composta da processori lontani fra di loro anche migliaia di chilometri! Questo è, in sostanza, il concetto di GRID¹⁵; il GRID consente, quindi, di disporre di una quantità di nodi di calcolo praticamente illimitata pagando,

però, il prezzo di disporre solo di una debole interconnessione tra loro (le prestazioni della rete internet non possono essere paragonate a quelle ottenibili dalle reti dedicate, più o meno efficienti, che si trovano sulle architetture parallele "integrate"; le prestazioni decadono sia in termini di *banda* effettiva di comunicazione – quantità di dati che possono essere trasmessi per unità di tempo – che in termini di *latenza* – tempo di inizializzazione di un processo di comunicazione). Inoltre, al fine di realizzare un ambiente di GRID computing, è necessario sviluppare uno strato *middleware* che renda trasparente all'utente l'eterogeneità *hardware* e *software* del sistema, ossia un insieme di software che permettano di interfacciare gli applicativi da eseguire nell'ambiente GRID e i sistemi operativi, solitamente differenti, dei singoli nodi di calcolo.

Vi sono classi di problemi nei quali, tuttavia, vi è una enorme quantità di dati da processare senza grandi impellenze temporali. A questa fattispecie si possono ascrivere una serie di problemi, quali:

- a) l'analisi di dati ricevuti da osservazioni (ad esempio radioastronomiche);
- b) la ricerca di specifiche chiavi molecolari in relazione a strutture molecolari note (*docking, high throughput screening* ecc.);
- c) l'analisi e la correlazione di genomi differenti (ad esempio per analisi di *linkage* genetici ecc.),

ed altri problemi analoghi. In questi casi, il lavoro computazionale richiederebbe una potenza di calcolo elevatissima per essere svolto in un tempo accettabile. Molti di questi problemi possono essere partizionati in sottoproblemi, caratterizzati da una minore complessità computazionale – fermo restando il fatto che la complessità della soluzione del problema partizionato è maggiore o uguale a quella del problema originale.

In questo caso il GRID *computing* è un

paradigma per il calcolo particolarmente interessante. Infatti, viene messa in opera la seguente strategia:

- si definisce un insieme di piattaforme di calcolo tali che, ciascuna di esse disponga della sufficiente potenza di calcolo per soddisfare le richieste computazionali del singolo sotto-problema in tempi di calcolo sufficientemente brevi;
- si mette questa piattaforma in grado di svolgere una soluzione “congiunta” del problema (nel senso che ciascuna delle singole piattaforme deve poter svolgere in maniera autonoma, ma coordinata con le altre, il ruolo di soluzione del sotto-problema computazionale che le viene sottoposto).

Questa tecnica di “integrazione” di tante stazioni di calcolo come una unica risorsa realizza una *computing farm*. Il sistema di calcolo messo insieme può essere *locale* (a livello di campus, rete geografica locale) ma anche essere *globale* (coinvolgere piattaforme di calcolo di una intera nazione ma anche di nazioni diverse)¹⁶.

L'estensione di questo concetto su scala planetaria è alla base della *global computing farm* vale a dire l'utilizzazione di una grande quantità di piccole risorse di calcolo presenti al mondo durante i loro “tempi di inattività” (*idle times* i tempi nei quali tali risorse non siano utilizzate dai proprietari, come ad esempio durante la notte o in tutti i tempi, durante la giornata di lavoro, nei quali non vi sia un particolare carico computazionale su di essi) per effettuare le attività riferibili alla soluzione del singolo sotto-problema.

Un esempio di questa modalità di soluzione di problemi computazionali utilizzando una *global computing farm* è il progetto SETI@home (*Search for an extraterrestrial intelligence*¹⁷). Questo progetto ha lo scopo di analizzare i dati provenienti dalla ricognizione dei vari settori della volta celeste sulle bande delle radio-

frequenze allo scopo di captare potenziali segnali “ordinati” (presumibilmente provenienti da possibili civiltà extra-terrestri) ed estrarli dal rumore di fondo. Le varie sequenze di dati, provenienti da vari radiotelescopi, costituiscono una enorme banca-dati e devono essere processati, attraverso tecniche di filtraggio e di analisi del segnale. L'idea alla base del progetto SETI@home è quella di inviare piccole sequenze di dati a tante piccole stazioni computazionali che siano in grado di eseguire il lavoro di analisi della sequenza. Quando queste stazioni hanno terminato il lavoro di analisi della sequenza a loro assegnata, inviano ad un elaboratore centrale, che ne coordina l'attività, il risultato dell'analisi e si dispongono alla eventuale ricezione di una nuova sequenza da analizzare. Questa griglia di stazioni di lavoro (idealmente dislocate in tutto il mondo) può essere coordinata da un semplice elaboratore centrale che ha il compito di distribuire via rete internet le sequenze alle differenti piattaforme che ne facciano richiesta e di memorizzarne successivamente l'*output* di ritorno (risultato dell'analisi).

I proprietari delle piattaforme di calcolo che vogliono rendere disponibili le loro risorse di calcolo per il progetto devono semplicemente installare una procedura che ne analizza costantemente lo stato e, al momento in cui essa non è occupata, fa partire una richiesta verso l'elaboratore centrale del Progetto per rifornirsi di una sequenza. Ovviamente tutto questo viene interrotto allorché il proprietario della piattaforma richiede l'uso della stessa; l'elaborazione viene interrotta e ripresa appena possibile.

In questo modo, il Progetto SETI@home ha sollecitato la disponibilità delle piattaforme di calcolo di tutta la comunità scientifica internazionale, che ha risposto molto favorevolmente a questa iniziativa. Al momento sono svariate centinaia di migliaia i computer in tutto il mondo che, nei loro tempi

di inattività, analizzano costantemente segnali provenienti dal server centrale del Progetto¹⁷. È interessante sottolineare come, dall'inizio del progetto SETI@home, siano stati elaborati dati eseguendo circa 5×10^{21} operazioni *floating point*: tale mole di elaborazioni, distribuita sui circa 5,5 anni di durata del progetto, corrisponde ad una potenza sostenuta nel periodo di circa 29 TFlop/s**, ossia dello stesso ordine di grandezza della potenza ottenibile dal più potente sistema di calcolo oggi esistente. Sempre basandosi sui dati rilevabili dalla home page del progetto SETI@home, si scopre che la potenza media erogata dalle nuove risorse aggiuntasi al *pool* di sistemi disponibili nelle ultime 24 ore (al 23 giugno 2004) è di circa 79 TFlop/s.

Iniziative di GRID globale di questo tipo e di queste dimensioni sono state adottate anche in altri ambiti. La Microsoft, ad esempio, ha lanciato un progetto basato su GRID globale per una iniziativa *no-profit* in collaborazione con il Dipartimento di Stato americano, per la ricerca di un antidoto contro l'antrace¹⁸, effettuata attraverso tecniche di chimica combinatoria su un repertorio molto grande di molecole. L'ultima iniziativa di GRID globale ad essere stata proposta alla comunità internazionale è dell'Università di Stanford ed è legata allo sviluppo di una nuova metodica¹⁹, appositamente studiata per sfruttare a pieno le potenzialità dello strumento tecnologico GRID, per lo studio del *protein folding* di piccole molecole²⁰.

Hardware dedicato

Il calcolo ad alte prestazioni non riguarda solo le aree applicative cosiddette *number crunching* ma anche le applicazioni *real time*, nelle quali i dati devono essere processati entro un intervallo di tempo Δ dalla loro ricezione/produzione: dal momento che la potenza di calcolo sostenuta nell'intervallo di tempo Δ

è data dal rapporto $\frac{NS}{\Delta}$ essendo NS il numero di operazioni eseguite nel tempo Δ , è evidente come, per $\Delta \rightarrow 0$, la potenza di calcolo che deve essere sostenuta possa diventare anche estremamente elevata: ad esempio, l'analisi di un'immagine di 1280×1024 pixel, mediante un semplice filtro di analisi di dimensioni 7×7 richiede, per un *frame rate* di 50 quadri al secondo, una potenza di calcolo pari a ~6 miliardi di operazioni al secondo. Tale potenza di calcolo è superiore a quella sostenibile da qualunque processore di tipo *general purpose* attualmente in commercio.

A questo punto è l'architettura stessa del processore che viene messa in crisi dallo specifico problema computazionale; non più un problema molto complesso, ma un problema che necessita di una esecuzione in tempi molto rapidi. Se la soluzione GRID si basa *sull'aumento della potenza totale a disposizione*, la strategia che illustreremo, quella della realizzazione di *motori dedicati*, si basa *sull'aumento dell'efficienza computazionale erogabile* su quello specifico problema. In altri termini, si cerca di realizzare uno strumento *ad hoc* che meglio si adatti a realizzare la specifica richiesta computazionale ottimizzando la sua architettura rispetto al problema stesso, cercando quindi il massimo grado di *compliance* con l'algoritmo alla base della computazione. Questa strategia è quella che, in un certo senso, estremizza il legame profondo tra il modello e l'architettura di calcolo: in questo caso l'architettura di calcolo è letteralmente concepita per l'esecuzione dello specifico problema computazionale da risolvere.

Il problema del processamento delle immagini è paradigmatico: in questo contesto può essere particolarmente conveniente l'adozione di *motori dedicati*, sviluppati mediante l'adozione della tecnologia, ormai matura, delle logiche ripro-

** 1 TFlop/= 10^{12} operazioni *floating point* eseguite in un secondo

grammabili FPGA (*Field Programmable Gate Array*) che consentono la realizzazione di processori la cui architettura rispecchi le necessità computazionali dell'algoritmo.

Le FPGA sono dispositivi che utilizzano al meglio la tecnologia corrente per offrire densità di integrazione pari a diversi milioni di *gate* equivalenti: ad oggi le due maggiori case produttrici di FPGA, Xilinx ed Altera, offrono prodotti basati su una tecnologia di processo da 90 nm. Le FPGA contengono al loro interno blocchi base di tipo elementare e di diversa complessità (unità di I/O ad un bit, generatori di funzioni a 4 bit, moduli di memoria di piccole dimensioni, moltiplicatori a 18 bit in virgola fissa, moduli per la gestione dei clock,...) che, opportunamente configurati mediante un'operazione di tipo software, permettono al dispositivo di comportarsi come se fosse un sistema dedicato opportunamente progettato. In sostanza, tramite le FPGA è possibile, seguendo il normale flusso di progettazione di un dispositivo elettronico di tipo dedicato (quali i dispositivi di tipo ASIC, *Application Specific Integrated Circuit*), arrivare alla configurazione di un *chip* specializzato mediante una serie di operazioni esclusivamente software, evitando tutti i processi, con i relativi costi e tempi di sviluppo, tipici dello sviluppo di ASIC. La specializzazione della FPGA è infatti ottenuta mediante il *download* di un file di configurazione (*bitstream*) all'interno della FPGA stessa: il *bitstream* è il file che contiene le informazioni di configurazione per le decine di migliaia di blocchi base presenti nella FPGA ed è ottenuto, mediante strumenti di tipo CAD, a partire da una descrizione del sistema da realizzare fornita tramite un programma espresso nei tipici linguaggi ad alto livelli sviluppati per la progettazione di hardware (quali il VHDL o il Verilog). Una volta progettato l'hardware da realizzare (descritto ad esempio mediante un programma VHDL),

tutti i passi sino alla realizzazione del prototipo funzionante sono costituiti da operazioni di tipo software. Un tipico flusso di progetto impiega i seguenti passi (completamente automatizzati):

- 1) compilazione del codice VHDL con conseguente proiezione del progetto su una macchina astratta basata su un insieme di risorse indipendenti dalla tecnologia adottata,
- 2) *mapping* della macchina astratta sulle risorse tipiche della tecnologia in oggetto – differenti famiglie di FPGA hanno blocchi base di tipo differente,
- 3) *place&routing* di tutte le linee e tutte le risorse sui blocchi base della FPGA,
- 4) generazione del *bitstream* finale.

Normalmente, i punti 1) e 2) sono seguiti da fasi di simulazione (con gli eventuali *feedback* sul progetto) per la rilevazione di errori di tipo logico/fisico.

Il forte sviluppo della tecnologia delle logiche programmabili ha quindi consentito:

- 1) di abbattere in maniera drastica i costi non ricorrenti per lo sviluppo di nuovi dispositivi, evitando in particolare la necessità di dover realizzare fisicamente su silicio il circuito dedicato; la complessità – e il costo – del processo di produzione di circuiti integrati di tipo ASIC rende percorribile la realizzazione in tecnologia ASIC di un nuovo dispositivo solo nel caso in cui si preveda una produzione su larga scala ($>10^5$ pezzi);
- 2) di sviluppare architetture di calcolo di tipo specializzato riconfigurabili, potendo di volta in volta specializzare le FPGA con funzionalità differenti semplicemente caricando un *bitstream* diverso; il tempo di riconfigurazione di una FPGA è, attualmente, dell'ordine delle decine di millisecondi ed il numero di riconfigurazioni possibili è illimitato;
- 3) di realizzare una nuova architettura di calcolo utilizzando unicamente pro-

cedure di sviluppo di tipo software. Una FPGA può essere pensata come una generalizzazione del concetto di processore: un processore, infatti, altro non è che un insieme di risorse (unità floating point/interi, moduli di memorizzazione, gestori del controllo, ecc.) che, di volta in volta, vengono specializzate a un determinato comportamento mediante un programma (scritto dall'utente e tradotto – automaticamente – nel codice macchina ottimizzato). Analogamente, una FPGA è un'insieme di risorse (estremamente più numerose e di più basso di livello rispetto a quelle presenti in un processore) che vengono specializzate mediante un programma scritto dal progettista in un linguaggio ad alto livello, come il VHDL, e automaticamente tradotto – in maniera ottimizzata – nel *bitstream* di configurazione.

A fronte dei precedenti vantaggi (riduzione dei costi, semplicità del processo di sviluppo), le logiche programmabili offrono, rispetto alle soluzioni equivalenti sviluppate in tecnologia ASIC, prestazioni inferiori di circa un ordine di grandezza sia nella velocità di propagazione dei segnali (e quindi della massima frequenza di *clock* utilizzabile) che nelle dimensioni del circuito realizzabile (espresse in numero di porte logiche equivalenti impiegate). Il parallelismo, ossia l'esecuzione contemporanea di più istruzioni all'interno della stessa FPGA, è la chiave di volta per colmare tale *gap* prestazionale. Tralasciando infatti la soluzione dedicata basata su tecnologia ASIC – in grado quindi di erogare maggiori prestazioni ad un costo estremamente più elevato – la soluzione che impiega la tecnologia FPGA deve essere comparata con una implementazione del corrispondente algoritmo su un processore di ultima generazione (entrambe tali soluzioni sono comparabili dal punto di vista del costo – almeno per quanto

riguarda il costo dell'hardware necessario). Ricordando quanto detto sull'efficienza di utilizzo dei processori, l'esecuzione del codice che realizza l'algoritmo che si è interessati ad implementare presenterà una potenza di calcolo sostenuta pari ad una frazione della potenza massima erogabile dal processore, ossia

$$P_{\text{realizzata}}^{CPU} = \eta P_{\text{massima}}^{CPU} = \eta IPC^{CPU} f_{ck}^{CPU}$$

in cui IPC^{CPU} è il numero di istruzioni eseguito dalla CPU in un ciclo di *clock*. Nel caso di una realizzazione di un algoritmo risolutivo del medesimo problema su FPGA, supponendo di poter esplicitare un parallelismo pari ad n , ossia di poter contemporaneamente utilizzare n unità funzionali, la potenza sostenuta dalla realizzazione su FPGA è pari ad n volte la potenza sostenuta da una singola unità funzionale (che si suppone – realisticamente – impiegata con un'efficienza pari ad 1), ossia

$$P_{\text{realizzata}}^{FPGA} = n P_{\text{realizzata}}^{CPU} = n IPC^{CPU} f_{ck}^{FPGA}$$

Impiegando i precedenti modelli prestazionali, estremamente semplificati ma validi per una comparazione di massima del dominio di applicabilità delle soluzioni basate su FPGA, si evince che è conveniente impiegare una soluzione con logiche programmabili quando risulta

$P_{\text{realizzata}}^{FPGA} > P_{\text{realizzata}}^{CPU}$, ossia quando si riesce ad esplicitare un parallelismo tale che

$$n > \eta \frac{IPC^{CPU} f_{ck}^{CPU}}{IPC^{CPU} f_{ck}^{FPGA}}$$

Considerando, ad esempio, un processore con *clock* a 3GHz, che esegue due istruzioni a ciclo di *clock* ed è impiegato con un'efficienza del 5% ed una FPGA con unità funzionali che eseguono un'istruzione a ciclo di *clock* e lavorano ad una frequenza di 100 MHz, l'impiego di una soluzione con FPGA è conveniente se si è in grado di esplicitare un paralle-

lismo $n > 3$: ciò significa che l'algoritmo deve essere strutturato in maniera tale da consentire il contemporaneo impiego di almeno 3 unità funzionali e, allo stesso tempo, che le dimensioni di tali unità funzionali abbiano dimensioni tali da poter essere integrate, con la molteplicità richiesta, all'interno della FPGA. La scelta sul tipo di tecnologia da adottare per realizzare un certo algoritmo, oltre che sulle precedenti considerazioni di tipo prestazionale, dovrà anche considerare:

- 1) il numero di linee di *input/output* (I/O) richiesto dalla architettura selezionata per essere implementata sulla FPGA; tale numero può costituire un fattore limitante per il parallelismo che si riesce ad esplicare all'interno della FPGA, in quanto ad una struttura parallela di calcolo deve corrispondere un adeguato parallelismo nelle linee di I/O, dedicate ad alimentare le unità di calcolo;
- 2) il tempo ($t_{sviluppo}$) necessario a sviluppare il prototipo della soluzione, sia software che basata sulle logiche programmabili, per il problema che si sta affrontando; la grandezza che è più interessante per una data architettura è la potenza di calcolo P_{Δ} erogata durante il suo ciclo di vita.

Considerando che, per una data tecnologia di integrazione, il tempo di vita per una famiglia di FPGA e di processori è sostanzialmente equivalente, indichiamo con Δ , per entrambe le tecnologie, tale tempo di vita. Si ottiene che

$$P_{\Delta}^X = (\Delta - t_{sviluppo}^X) P_{sviluppo}^X$$

con $X = \{FPGA, CPU\}$, a seconda della tecnologia che si sta considerando. Dalla precedente relazione si evince come il tempo necessario a sviluppare una data soluzione assuma un ruolo fondamentale per la competitività o meno della soluzione in questione.

La realizzazione di sistemi dedicati alla soluzione di un problema presenta, inoltre, ulteriori problematiche connesse alla intrinseca complessità del sistema da implementare. Nella quasi totalità dei casi, le fasi inerenti alla progettazione di un sistema dedicato possono essere ricondotte alla:

- definizione delle specifiche e dei vincoli del sistema;
- suddivisione del sistema in blocchi computazionali;
- progettazione di ognuno dei blocchi computazionali (in hardware o in software), loro integrazione ed implementazione del sistema;
- verifica delle prestazioni.

Ognuna di queste fasi presenta ben determinate criticità ed ognuna di esse prevede diversi passi di affinamento necessari alla sua convergenza:

- la definizione delle specifiche viene spesso fornita in maniera non univoca presentando ambiguità che devono essere eliminate nella successiva fase di implementazione;
- i *team* di progettazione coinvolti nella realizzazione del sistema, provenendo necessariamente da esperienze professionali differenti, possono produrre specifiche di progetto secondo stili e livelli di astrazione a volte molto differenti che possono rendere ardua la loro successiva integrazione;
- la suddivisione del sistema in blocchi computazionali, oltre a individuare gli elementi base del sistema, ha, come obiettivo, la partizione del sistema in componenti hardware e in componenti software; l'individuazione della partizione ottima o, quanto meno, di una partizione che si avvicini sufficientemente all'ottimo, deve tener conto di numerosi parametri, ognuno dei quali contribuisce in maniera più o meno significativa al rapporto costo/prestazioni; generalmente questa fase si basa sull'esperienza progressa del *team* di

progettazione e costituisce uno dei maggiori elementi di criticità dell'intero progetto;

- l'implementazione e l'integrazione dei blocchi computazionali costituenti il sistema, essendo condotta molto spesso ad un bassissimo livello di astrazione, è spesso fonte di errore e necessita di un certo numero di passi di verifica al fine di garantire una implementazione aderente alle specifiche di progetto; la verifica dell'implementazione costituisce la fase più impegnativa del progetto sia in termini di risorse impiegate (economiche e di personale) sia in termini di tempo; può accadere, infine, che la verifica di progetto risulti la spiacevole sorpresa di aver ottenuto un sistema non aderente ai vincoli imposti dal committente, che costringe il *team* di progetto a rivedere tutte le fasi precedenti di progettazione

La comunità scientifica internazionale, sulla base delle criticità relative alle fasi di progettazione di un sistema elettronico complesso, è da tempo impegnata sul fronte dello studio di metodologie di progetto che permettano di limitare i tempi e i costi legati allo sviluppo di sistemi elettronici complessi. La tendenza attuale è quella di automatizzare il più possibile le fasi progettuali al fine di ridurre al massimo l'intervento del progettista.

Indipendentemente dal dominio applicativo di riferimento la maggior parte delle soluzioni proposte, che vanno sotto il nome di metodologie di *hardware/software co-design*²¹, si basano sui seguenti punti cardine:

- le specifiche del sistema devono essere fornite secondo modelli di calcolo formalizzati su basi matematiche; in tal modo le specifiche ottenute non presenteranno ambiguità e risulteranno integrabili tra loro anche in presenza di team di progettazione eterogenei;
- le specifiche del sistema devono essere verificate sulla base delle proprietà

statiche e dinamiche (simulazione) dei modelli di calcolo;

- la partizione del sistema in hardware e software deve essere effettuata sulla base di un'esplorazione architeturale composta dai seguenti elementi:

- 1) libreria di elementi architeturali contenente gli elementi base di un'architettura;
- 2) regole di composizione degli elementi architeturali per la realizzazione di un'architettura completa;
- 3) funzione di costo per la valutazione di un'architettura sia in termini di prestazione che di costo;
- 4) processo di ottimizzazione che, sulla base della funzione di costo fornita, permetta una esplorazione dello spazio delle architetture, al fine di trovare quella "ottima" per il sistema da implementare;

- l'implementazione del sistema deve avvenire mediante metodologie di sintesi ad alto livello che, partendo dalle specifiche di progetto fornite mediante modelli di calcolo, permettono la sua realizzazione fisica attraverso una serie di passi corretti per costruzione; essendo i passi corretti per costruzione, il sistema implementato aderisce in tutto e per tutto al sistema specificato e, pertanto, non si avrà più bisogno di nessuna ulteriore verifica fatta salva la verifica iniziale delle specifiche.

La realizzazione di una metodologia di *hardware/software co-design* è molto complessa. A tutt'oggi non esiste alcuna metodologia in grado di affrontare in maniera efficace il progetto di un qualsivoglia sistema elettronico complesso. Le soluzioni proposte dalla comunità scientifica internazionale, infatti, sono tutte legate a specifici domini applicativi e consentono, pertanto, di affrontare il progetto di un sistema elettronico complesso solo in ristretti ambiti.

Conclusioni

Il futuro prossimo vedrà una rilevante convergenza di strumenti, metodologie e paradigmi operativi da aree applicative diverse. Diversi ambiti applicativi hanno concluso la loro fase di decostruzione ed hanno iniziato la fase di ricomposizione dei modelli; tutti questi ambiti hanno dunque iniziato una fase di *Systemology*, vale a dire la produzione e lo studio di modelli complessi rappresentanti sistemi reali, attraverso la composizione di modelli *multi-scale*. L'informatica avanzata dovrà sostenere l'impatto con queste nuove sfide.

In questi scenari molto complessi, e in continuo mutamento, è estremamente difficile azzardare qualunque forma di previsione sul medio-lungo periodo. Questa scala di tempi è dominata da prospettive interessanti legate alle nanotecnologie²² per l'utilizzo di materiale "biologico" (come DNA e proteine) per la costruzione dei dispositivi per la microelettronica (come memorie, CPU ecc.) e al *quantum computing*²³ per l'introduzione di un paradigma completamente nuovo per l'algoritmica e le architetture stesse di calcolo.

Sul breve-medio periodo, la tendenza sembra essere quella di una ulteriore riduzione del numero delle architetture COTS alla base delle principali piattaforme di calcolo *general-purpose*, del consolidamento delle piattaforme vettoriali in specifiche nicchie del calcolo ad alte prestazioni ove maggiore sia la richiesta di potenza di calcolo (*capability computing*) e minori gli spazi per un "frazionamento" dei problemi stessi in problemi computazionalmente meno onerosi (*capacity computing*).

Riteniamo che, accanto a queste tecnologie che tenderanno a consoli-

darsi sempre di più, ci siano ampi spazi per introdurre nuove idee e nuovi modelli per il calcolo ad alte prestazioni, in particolare in quelle aree scientifiche e tecnologiche emergenti (le biotecnologie, il processamento *real-time* ecc.). Queste, in realtà, a causa della loro novità, non costituiscono discipline classiche attorno alle quali le attuali architetture di calcolo abbiano avuto effettivamente la possibilità di "funzionalizzarsi" (come per altre discipline e/o applicazioni). Esse, a volte, presentano problemi computazionali completamente nuovi per la struttura delle architetture di calcolo e, quindi, per le loro potenzialità. Per far fronte alle richieste di queste nuove classi di problemi, i processori dovrebbero effettuare una serie di mutazioni architetture che, in molti casi, tenderebbero ad "allontanarli" dal *mainstream* di applicazioni che ormai si sono consolidate e che definiscono le ragioni tecnologiche del loro successo (internet, grafica avanzata e multimedia ecc.) e che consentono loro di presidiare la quota più rilevante del mercato. Per questo motivo saranno tali settori emergenti a guidare nuovi sviluppi sulle architetture, sulle piattaforme e sui dispositivi che verranno sviluppati per sopperire, in quegli ambiti, alle "carenze" delle architetture *general-purpose*. Abbiamo individuato nelle architetture dedicate ed, in particolare nell'utilizzo di logiche programmabili, le architetture che meglio potranno svolgere, a nostro avviso, questa funzione. Le architetture *general-purpose* rimarranno per lungo tempo, e almeno fino ad una reale saturazione della legge di Moore²⁴, le piattaforme di calcolo di riferimento in tutti i campi applicativi, *dall'entertainment* fino al calcolo ad alte prestazioni.

Appendice A

Le architetture dei processori tradizionali si dividono in due grandi categorie: i processori *super-scalari* e i processori *vettoriali*²⁵.

I processori *super-scalari* sono quelli maggiormente utilizzati nelle *workstation*: essi hanno molto beneficiato della tecnologia CMOS e della produzione di massa. In genere sono composti da uno (o più) processori RISC (*Reduced Instruction Set Computer*) (Figura A1) e da una serie di elementi aggiuntivi come memorie ad accesso rapido (*caches*) a diverso livello di priorità (*cache* di primo e di secondo livello, *D-cache* in figura A1), connesse al processore attraverso un *bus* di elevate prestazioni (con bande dell'ordine delle migliaia di Mbit al secondo). La denominazione *super-scalare* deriva dalla possibilità di questi processori di iniziare più operazioni nello stesso ciclo di *clock*. Infatti essi contengono, al loro interno, diversi elementi, quali unità *floating point*, unità per le operazioni tra interi, unità per il calcolo degli indirizzi. L'unità *floating point* opera solo con dati provenienti dalla *data-cache* (*D-cache* in figura A1) che sono trasferiti attraverso operazioni di *load/store* che richiedono 1-2 cicli di *clock* per essere eseguiti. Se l'elemento richiesto, però, non si trova sulla *data-cache*, esso deve essere richiesto all'unità di memo-

ria, attraverso un processo molto più lento che richiede l'uso del *bus* locale e di conseguente svariati cicli di *clock* per essere eseguito. Questo fatto (noto come *cache miss*) è uno dei principali motivi di decadimento delle prestazioni dei processori e dei codici che ne sfruttino le funzionalità. È essenziale, quindi, che i dati utilizzati nei codici siano il più possibile presenti e riutilizzati nelle *data-cache* dei processori. In genere, tuttavia, le dimensioni di questi elementi sono il fattore primario che determina il costo di un processore. Le *workstation* RISC, che hanno avuto un notevole successo nel campo del calcolo scientifico, sono in genere caratterizzate da dimensioni elevate delle *data-cache* (fino a 12 Mbytes) mentre i più economici processori PC hanno *data-cache* di dimensioni molto ridotte (che solo recentemente hanno raggiunto il Mbyte). Un altro elemento rilevante è la portata del *bus* locale che serve per approvvigionare di dati la *data-cache* dalla unità di memoria. In genere questo *bus* è più lento di quasi un fattore dieci rispetto al *bus* di collegamento tra la *data-cache* e le unità di calcolo del processore. Questo, in genere, è il punto di maggiore debolezza dei microprocessori.

I processori *vettoriali* hanno avuto un notevole successo negli anni 70; da allora hanno costituito le architetture di riferimento in numerosi ambiti applicativi, primo tra tutti la fluidodinamica. Per decenni le previsioni meteorologiche e, in genere, gli studi di climatologia e oceanografia sono stati eseguiti prevalentemente su architetture vettoriali; ancora oggi, una larga parte della codicistica esistente si basa su *kernel* computazionali sviluppati e ottimizzati per quelle architetture. La peculiarità delle architetture *vettoriali* (inizialmente basate su tecnologia ECL ma

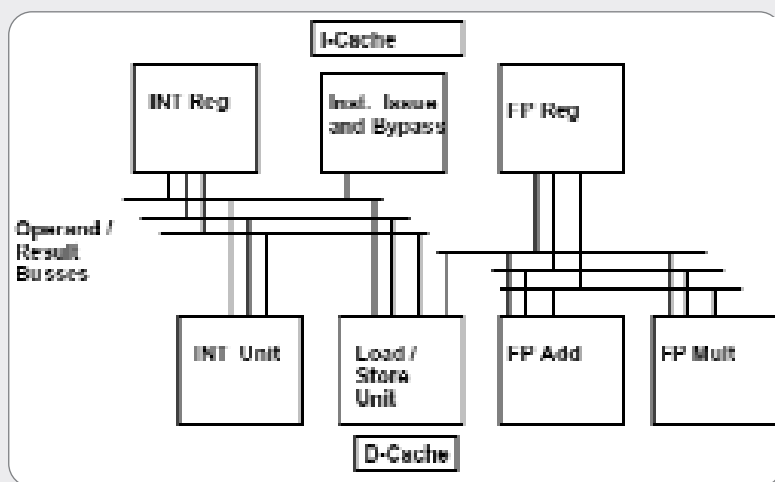


Figura A1
Schema a blocchi di un processore ad architettura superscalare (RISC)

Il cammino della web accessibility

**LAURA MASSOLI,
SERENA LUCIBELLO**

ENEA
Relazioni Esterne

Progettare un sito tenendo conto delle necessità di utenti disabili alla fine si riflette in un miglioramento generale nell'utilizzo per tutti

studi & ricerche

The progress of web accessibility

Abstract

ENEA's experimental designs for widely accessible websites are consistent with the thinking that characterises the diffusion and the debate on the concept of web accessibility at the international, EU and Italian levels.

The ENEA team opted for a broad concept of accessibility in which the site's organisation and contents are meant to address multiple user segments.

A significant aspect that emerged during testing is that feedback from validation with users who have disabilities is also important for general improvements in the site's presentation and in the clarity of the contents, hence in its usability.

A

ccesso e accessibilità

Per dare una definizione completa di accessibilità è necessario partire da un concetto ad essa vicino, quello di accesso. Il termine “accesso universale”, “universal access” ha origine in un contesto che non è legato al “pubblico interesse”, ma a strategie industriali: il capo della compagnia americana telefonica AT&T coniò infatti tale termine con l’idea di voler diffondere il servizio telefonico, e quindi il suo uso, in maniera universale. Tale digressione storica ci serve per capire come l’idea di accesso universale sia, nei diversi periodi, comunque strettamente connessa con le dinamiche e le innovazioni tecnologiche dell’epoca, dalla linea telefonica con il sistema Bell negli anni venti, alle nuove tecnologie della comunicazione dei nostri tempi.

Dal punto di vista del fruitore, si può dire, in generale, che poter accedere e condividere un’informazione o un servizio¹ ha conseguenze in termini di:

- *efficienza*, nel senso di razionalizzazione di costi monetari e non monetari (per esempio la possibilità di disporre di informazioni in tempo reale o in maniera più semplice attraverso il web può portare a risparmi economici in molti settori: dall’agricoltura alla sanità);
- *efficacia*, ossia la qualità del prodotto-servizio (per esempio i miglioramenti nel sistema della salute attraverso la telemedicina);
- *capacità* di acquisire nuovi contatti (per esempio, la possibilità di utilizzare la rete internet crea un nuovo mercato di utenti);
- *equità*, ossia la distribuzione degli eventuali *benefit* al sistema sociale (per esempio alle aree remote, così come ai disabili o alle minoranze).

Quest’ultimo punto, ossia la garanzia di equità, attraverso un accesso che tuteli tutte le fasce della popolazione, collega

specificamente tale tema con quello dell’accessibilità. Anche questo può considerarsi alla stregua di un “termine ombrello”.

Esistono infatti diverse declinazioni del termine accessibilità: si parla di accessibilità *architettonica*, in particolare quella dei luoghi pubblici; accessibilità *temporale*, che riguarda, ad esempio, le aperture al pubblico, pomeridiane e festive di alcuni servizi; accessibilità *burocratica*, attraverso lo snellimento e la semplificazione delle pratiche amministrative; ed ancora accessibilità *linguistica e culturale*, di un paese aperto all’Europa, e che ospita un numero crescente di persone extracomunitarie, anche attraverso una maggiore attenzione all’uso dei codici linguistici impiegati nella comunicazione con i cittadini.

Infine un aspetto dell’accessibilità, che è molto attuale, è quello che potremo chiamare “accessibilità remota”, ossia la possibilità di accedere ad una risorsa informativa a distanza, senza recarsi nel luogo in cui essa è locata e a prescindere dalla piattaforma di erogazione. In questo specifico contesto “l’accessibilità” è definita come “la capacità dei sistemi informatici, nelle forme e nei limiti consentiti dalle conoscenze tecnologiche, di erogare servizi e fornire informazioni fruibili, senza discriminazioni, anche da parte di coloro che a causa di disabilità necessitano di tecnologie assistive o configurazioni particolari”².

Il concetto di utenza debole

Nel tentativo esplicitare maggiormente il concetto di accessibilità occorre analizzare brevemente le categorie di utenti e le loro conseguenti problematiche di accesso alle tecnologie web.

In primo luogo consideriamo i disabili, laddove, secondo la definizione della Organizzazione Mondiale della Sanità “la disabilità è la riduzione o perdita di una

capacità funzionale o dell'attività conseguente a una menomazione, sia di tipo anatomico, psicologico o fisiologico".

In base ai dati (1999-2000) forniti dal Ministero del Lavoro e delle Politiche Sociali in collaborazione con l'ISTAT sul sito www.handicapincifre.it, le persone disabili in Italia sono 2 milioni 615mila, pari al 5% circa della popolazione di 6 anni e più che vive in famiglia³.

Secondo il tipo di disabilità, possiamo dividere i problemi di accessibilità in quattro categorie:

- disabilità fisiche-sensoriali: non vedenti, ipovedenti (persone che possiedono un residuo visivo, oscillante tra 1/10 e 3/10), daltonici, non udenti, utenti con difficoltà motoria nell'uso di mouse e tastiera;
- disabilità cognitive: scarso apprendimento, problemi di lettura e comprensione dei testi;
- barriere tecnologiche: connessione lenta, plug-in assenti (java, flash ecc.);
- situazioni particolari: l'utente è occupato in altre attività e non può utilizzare i normali strumenti di input e/o output.

Tale suddivisione ci offre una lettura più ampia del concetto di utenza debole, che non si limita cioè a prendere in esame esclusivamente chi ha disabilità fisiche, ma considera anche quelle problematiche tipiche di un'utenza normodotata. Nel caso di un utente "normodotato", un aspetto da considerare è quello della molteplicità dei dispositivi di accesso ad Internet: non solo un computer ma un palmare, un cellulare o una WebTV⁴. Nasce così l'esigenza di rendere i contenuti web fruibili indipendentemente dai dispositivi di input utilizzati.

Il principio da seguire è "un contenuto-molte presentazioni", che comporta l'uso dei fogli di stile e la separazione tra contenuto e presentazione: la presentazione di una pagina sarà ovviamente influenzata dal tipo di dispositivo e dal meccanismo di accesso disponibile; è

importante però che il contenuto e le funzionalità del sito rimangano identiche in tutti i casi.

Scegliendo un'accezione semantica del termine accessibilità così ampia, anche il *target* di riferimento diventa assai significativo. Al di là dei disabili, e delle diverse forme di disabilità, vale la pena soffermarsi su altri dati che riguardano i cosiddetti normodotati: se oggi il 32,1% degli italiani utilizza il web, esiste un 24,2% di "utenti potenziali" che lamentano la mancanza di competenze e capacità adeguate per utilizzare internet, ed addirittura un 11,7% di "utenti esclusi da internet", che cioè non sanno cosa sia e quali servizi offra⁵.

Altri dati significativi provengono dal Rapporto Federcomin 2003 "l'Italia dell'e-family", che fotografa un utente tecnologico prevalentemente maschio, occupato, nella fascia di età che va dai 15 ai 45 anni e con alto livello di scolarità.

Questi dati non possono passare inosservati, soprattutto nel momento in cui si affermano i principi dell'e-government: se lo Stato decide di comunicare e offrire servizi tramite internet non possono essere accettate situazioni per cui un'ingente fetta di utenti rimane tagliata fuori per mancanza di competenze tecniche, per poca conoscenza, oltre che per la propria disabilità.

Stefano Rodotà sottolinea giustamente le differenze che esistono tra "nuovi media come beni di consumo e tecnologie come strumenti di partecipazione: se nel primo caso le differenze possono essere tollerate, nel secondo esse sono un rischio reale per la democrazia"⁶.

Non si tratta, però, di un problema già avviato a soluzione e il divario tra info-ricchi e info-poveri diventa fonte di nuove povertà, poiché è ormai acquisita la consapevolezza del valore di Internet e delle ricadute dell'esclusione/inclusione dall'ICT (Information and Communication Technology) sulle dimensioni culturali,

politiche ed economiche delle collettività mondiali.

Gli sforzi normativi per l'accessibilità web

La rivoluzione nel contesto dell'*information technology* è stata accompagnata, almeno negli ultimi anni, da un interesse crescente per lo sviluppo di ausili hardware e software che permettessero di coniugare disabilità e accesso all'informazione. Tale aspetto è stato anche supportato a livello normativo: una tappa fondamentale, in questo senso è l'adozione nel 1994, da parte dell'Assemblea Generale delle Nazioni Unite, di una risoluzione intitolata "Norme standard per la parità di opportunità per i disabili"⁷. Tale risoluzione, pur senza costituire un vincolo legale, ha rappresentato un forte impulso per l'adozione di politiche indirizzate ad ottenere l'uguaglianza di diritti ed opportunità per le persone disabili.

Alla risoluzione sono seguiti tutta una serie di interventi legislativi ad hoc, tesi a regolamentare situazioni specifiche:

- negli USA nel 1998 il presidente Clinton ha firmato un emendamento al Rehabilitation Act, rafforzandone la section 508, e imponendo che le Agenzie federali garantiscano l'accesso ai siti web e alle intranet pubbliche da parte degli utenti disabili⁸;

- il 12 maggio 2002 la Commissione Europea ha redatto un documento dal titolo "Verso un'Europa senza ostacoli per i disabili", diretto soprattutto al Consiglio e al Parlamento Europeo, in cui si ribadisce la necessità da parte della società di doversi adattare alle specifiche esigenze dei disabili stessi, al fine di garantirgli un equo e possibile inserimento nel contesto socio-lavorativo⁹;

- il piano eEurope 2002 sancisce, tra i suoi obiettivi, la disponibilità per tutti di

un collegamento on-line e lo sforzo perché il processo di digitalizzazione non crei emarginazione ma coesione sociale. Tali finalità vengono tradotte includendo, tra le azioni prioritarie, la "e*participation* per i disabili", ossia il tentativo di garantire anche ad essi l'accesso alla società dell'informazione attraverso nuove norme in materia di accessibilità e siti web pubblici accessibili per tutti;

- il Consiglio dell'Unione Europea, nel dicembre 2002, pubblica la Risoluzione "eAccessibility for people with disabilities", che invita gli Stati membri e la Commissione stessa a continuare nell'azione di abbattimento delle barriere di accesso, attraverso la promozione di campagne di informazione e progetti tecnologici e l'adozione delle linee guida WAI nei siti della PA¹⁰.

Il World Wai Web Consortium e la Web Accessibility Initiative

Nel 1994 Tim Berners-Lee, l'inventore del web, fonda il World Wide Web Consortium (W3C), l'organismo che si occupa di elaborare tutte le specifiche che sono alla base del web, per incentivare uno sviluppo ottimale della Rete.

Per rispondere alle esigenze di accesso universale all'informazione in rete, nel 1997 il W3C dà vita alla Web Accessibility Initiative (WAI), riunendo in gruppi di lavoro intorno al tema dell'accessibilità i maggiori esperti mondiali di internet. Si pensa ad un nuovo modo di concepire lo sviluppo delle pagine web ispirato ai Principi di Progettazione Universale, per permettere anche agli utenti disabili di accedere ai contenuti dei siti web.

Nel maggio 1999 viene pubblicata la Web Content Accessibility Guidelines 1.0, 14 linee guida che analizzano i problemi di accessibilità per i siti web proponendo soluzioni correttive.

Le raccomandazioni prendono in considerazione tutti quegli aspetti che possono rendere la navigazione di un sito un'impresa impossibile per un utente. Durante la progettazione gli sviluppatori devono infatti considerare le possibili diverse condizioni in cui si trova ad operare l'internauta. E se è vero che ci sono diverse situazioni da considerare, ogni scelta di *design* accessibile porta però, contemporaneamente, dei benefici a molti gruppi di disabili e all'intera comunità del web. La Web Content Accessibility Guidelines 1.0 è ancora oggi il documento più importante per chi intende abbattere le barriere nei siti web.¹¹

Accesso e Pubblica Amministrazione italiana

La Pubblica Amministrazione italiana ha cominciato ad adeguarsi a questo scenario da un paio di anni. Lo ha fatto in una prospettiva sia tecnica che sociale, con l'obiettivo di una ridefinizione del concetto di accessibilità da un punto di vista di comunicazione pubblica.

Nel 2000 viene istituito, presso il Dipartimento della Funzione Pubblica della Presidenza del Consiglio dei ministri, un "Comitato di studio interministeriale per il miglioramento dell'accessibilità dei siti web delle pubbliche amministrazioni".

Allo stesso tempo, inizia l'attività di un gruppo di lavoro presso AIPA (Autorità per l'Informatica della Pubblica Amministrazione¹²) sul tema dell'accessibilità del web. Il lavoro di questi due gruppi ha prodotto due importanti circolari.

La prima, del Dipartimento della Funzione Pubblica (Circ. 13 marzo 2001, n. 3/2001) che definisce le "Linee guida per l'organizzazione, l'usabilità e l'accessibilità dei siti web delle pubbliche amministrazioni", ed è rivolta a tutti coloro che all'interno della pubblica amministrazione abbiano responsabilità collegate alla

progettazione, realizzazione e manutenzione di sistemi informativi basati sulle tecnologie del web.

Il documento introduce, per la prima volta in Italia in maniera ufficiale, alcuni concetti importanti: da un lato sottolinea come l'utilizzo ottimale delle tecnologie di comunicazione e, in particolare, di Internet, costituisca un'esigenza strategica per le pubbliche amministrazioni, dall'altro presenta il web sia quale strumento comunicativo, sia come tecnologia organizzativa, che permette di lavorare insieme ad altri e di condividere informazioni tra uffici, di realizzare pratiche di integrazione tra basi di dati e tra procedure, e forme di collaborazione con soggetti esterni a una determinata amministrazione.

L'altra circolare, dell'AIPA (AIPA/CR/32), del 6 settembre 2001, descrive i "Criteri e strumenti per migliorare l'accessibilità dei siti web e delle applicazioni informatiche a persone disabili". Dopo aver definito i vari tipi di disabilità, che possono richiedere "tecnologie assistive", la circolare afferma che "il grado più elevato di accessibilità si consegue attuando il principio della progettazione universale, secondo il quale ogni attività di progettazione deve tenere conto della varietà di esigenze di tutti i potenziali utilizzatori".

Questo principio, applicato ai sistemi informatici, si traduce nella progettazione di sistemi, prodotti e servizi fruibili da ogni utente, direttamente o in combinazione con tecnologie assistive.

Nel marzo 2003 Commissione interministeriale sullo sviluppo e l'impiego delle tecnologie dell'informazione per le categorie deboli pubblica il Libro Bianco "Tecnologie per la disabilità: una società senza esclusi", che contiene una serie di raccomandazioni, tradotte in obiettivi e iniziative operative, utili per conseguire quell'accesso sempre più ampio alla società dell'informazione, che la stessa Unione Europea richiede.

Nel gennaio del 2004, il Ministro per l'Innovazione e le Tecnologie emana infine la legge "Disposizioni per favorire l'accesso dei soggetti disabili agli strumenti informatici".

Tra i concetti innovativi della legge c'è quello della centralità dell'utente, in linea con l'idea di progettazione universale e che si affianca a quella più tradizionale del progettista. Secondo lo spirito della legge, la maggiore attenzione alle esigenze dei diversamente abili fornirà risultati importanti anche per la qualità della fruizione dei servizi digitalizzati da parte di altre categorie di utenti, per esempio gli anziani, ma addirittura di tutta l'utenza.

In un articolo pubblicato sul sito *www.pubblicaccessio.gov.it*, l'ing. Celestino Grassi, componente della Segreteria tecnico-scientifica della Commissione interministeriale permanente per l'impiego delle ICT a favore delle categorie deboli o svantaggiate, propone una chiave di lettura della legge nell'ottica del rapporto tra cittadino e pubblica amministrazione:

"il filo logico della legge Stanca, la "ratio legis", può dunque riassumersi nei seguenti termini: la PA deve erogare servizi e questi saranno sempre più forniti attraverso reti informatiche; detti servizi devono essere resi disponibili al maggior numero di utenti e quindi anche a quel 5% di cittadini italiani portatori di qualche disabilità"¹³.

Sul versante operativo però, la situazione che emerge da un'analisi effettuata nel 2002 su 77 siti della PA (divisi tra ministeri, istituzioni, capoluoghi di Regione, Regioni e enti pubblici), non sembra molto confortante¹⁴. Anche se cresce la sensibilità verso le tematiche legate all'accessibilità, l'indagine sottolinea come molti siti siano lacunosi, rimediando magari in una versione accessibile parallela testuale, spesso incompleta, che ha alla fine il solo obiettivo di non disattendere (almeno non total-

mente) le norme, senza però garantire un pieno diritto di accesso ai contenuti e ai servizi.

L'approccio verso cui si dovrebbe tendere spinge invece ad affrancare il discorso sull'accesso da una mera questione di norme e specifiche per contestualizzarlo in una prospettiva pubblica più ampia che tenga conto e si preoccupi di tutte le diverse angolature: dal rispetto delle linee guida fino alla semplificazione dei contenuti digitali, dalle imposizioni normative fino alla garanzia di accesso per tutti ai servizi e alle informazioni.

L'ENEA per l'accessibilità web

Nell'ottica di fornire un accesso sempre più esteso all'informazione in rete ed in linea con le direttive nazionali e comunitarie, anche l'ENEA ha intrapreso alcune iniziative tese alla realizzazione di propri siti accessibili. Sono stati realizzati, nel corso del 2004, i seguenti siti accessibili:

- Centro Ricerche Ispra
(www.enea.it/com/ispra)
- Centro Ricerche Bologna
(www.bologna.enea.it)
- Centro Ricerche Trisaia
(www.trisaia.enea.it)
- Progetto Solare Termodinamico
<http://www.enea.it/com/solar/index.html>

La progettazione ha teso raggiungere il livello di priorità (AAA), quello massimo indicato dal W3C¹⁵. Essa si è basata su due aspetti fondamentali:

- una grossa attenzione nella predisposizione del codice html, attraverso la separazione tra il layout, ossia la presentazione dei contenuti da un lato, e l'organizzazione dei contenuti stessi dall'altro. Le linee guida parlano a tal proposito di "assicurare una trasformazione elegante" delle pagine web;
- l'attenzione alla semplificazione dei contenuti e della navigazione all'interno del sito, pur nel rispetto della loro precisione scientifica.

In questo senso si è scelto un concetto allargato di accessibilità, che non si basa semplicemente sull'implementazione delle specifiche tecniche richieste dalle linee guida, ma tenta anche di perseguire una impostazione generale del sito e dei suoi contenuti, finalizzata ai diversi segmenti di utenti a cui si rivolge. Il lavoro di analisi e progettazione, pur rispettando le specificità di ogni caso e contesto, ha comunque seguito generalmente le sottoindicate fasi.

1. Predisposizione dei contenuti e loro architettura ipertestuale (a partire dall'eventuale analisi e rielaborazione dei contenuti preesistenti).

Nell'impostazione delle etichette di primo livello del menu dei contenuti si è cercato di mettere in evidenza le linee di attività, i laboratori e i risultati della ricerca scientifica.

Tale approccio, tarato sull'utente e non sull'ente, porta quindi ad un superamento dell'autoreferenzialità dell'istituzione, che utilizza il sito web non semplicemente per presentare la propria struttura, ma per far conoscere le sue linee di ricerca, i suoi servizi, le sue produzioni scientifiche. In particolare, nel caso dei siti dei Centri si è voluto mantenere un progetto simile per i vari casi (pur adattabile alle diverse esigenze), così da dare consistenza e coerenza ai contenuti.

È stata quindi realizzata una *mappa concettuale*, ossia una rappresentazione grafica dei contenuti definiti e delle relazioni fra essi. Si tratta di uno strumento molto importante di rappresentazione della conoscenza, perché permette di visualizzare le unità di informazione e i collegamenti, cioè le pagine e i link tra queste, dando una visione d'insieme del progetto, delle relazioni fra i nodi (le pagine), del livello di profondità realizzato.

Si è molto lavorato sulla creazione dell'*ipertesto*, attraverso l'impostazione di rimandi tra le singole unità di contenuto, sfruttando così le peculiarità reticolari

della pagina web, a differenza di quella tradizionale cartacea, di tipo sequenziale.

Un altro principio perseguito nella progettazione dei contenuti è quello della raggiungibilità. Uno studio americano sulla credibilità delle istituzioni attraverso i loro siti¹⁶, mette in evidenza come è fondamentale per l'utente poter contattare chi è "dietro" al sito. Così, particolarmente nelle pagine interne, ogni linea di attività è accompagnata dai riferimenti scientifici da poter contattare nell'eventualità di approfondimenti o richieste.

In questo modo le informazioni presentate acquisiscono un riferimento e l'istituzione ne guadagna in reputazione e credibilità.

2. Definizione strumenti di navigazione

Gli strumenti di navigazione dei siti web, esattamente come la segnaletica nel mondo reale, poggiano ormai su alcune convenzioni consolidate¹⁷.

L'organizzazione dell'home page ha previsto la creazione di aree di contenuto distinte, separando, per esempio, la parte riservata da quella di accesso pubblico, il menù di contenuti da quello di *navigazione*; quest'ultimo mette a disposizione del navigatore una serie di funzionalità (quali la mappa del sito, le informazioni sul sito, il motore di ricerca) per aumentare l'usabilità del sito stesso.

Tra le altre funzionalità previste, in ogni pagina è presente l'indicatore di posizione (le cosiddette "briciole di pane" o *breadcrumbs*) che riporta il percorso e i link cliccabili, fino alla pagina attualmente visualizzata.

3. Realizzazione tecnica del sito, nel rispetto degli standard W3C:

- separazione tra struttura dei contenuti e presentazione degli stessi attraverso l'uso di fogli di stile;
- uso dell'attributo ALT per fornire un

equivalente testuale a tutte le immagini, descrivendone sinteticamente il contenuto. Per i contenuti scientifici del sito e la relativa complessità di alcune immagini, in molti casi si è scelto di corredare l'immagine dell'attributo LONGDESC, che rimanda ad un file di testo nel quale l'immagine viene descritta in modo dettagliato.

- uso dell'attributo TITLE, con una descrizione significativa della destinazione del collegamento;
- uso degli *access key* (tasti di accesso rapido), che permettono di raggiungere le diverse sezioni definite attraverso la combinazione del tasto Alt + più la lettera o il numero specificato;
- definizione del linguaggio principale del documento e precisazione, all'interno di ogni pagina, del linguaggio relativo a specifici termini stranieri, per garantire il miglior supporto possibile ai browser a sintesi vocale;
- indicazione, mediante gli appositi tag, del significato delle abbreviazioni e degli acronimi presenti all'interno del testo.

4. Valutazione del sito

Lo schema del Regolamento di attuazione della Legge Stanca, approvato in via preliminare il 9 luglio 2004, distingue tra valutazione condotta tramite "verifica tecnica", ossia "condotta da esperti sulla base di parametri tecnici, anche con strumenti informatici" e valutazione attraverso "verifica soggettiva", "articolata su più livelli di qualità ed effettuata con l'intervento del destinatario, anche disabile, dei servizi, sulla base di considerazioni empiriche"¹⁸.

Coerentemente con tale approccio anche la valutazione dei siti ENEA è stata articolata secondo due fasi:

4.1 Verifica tecnica del sito

È stata sostanzialmente condotta attraverso i validatori di codice; in particolare ogni pagina è stata validata con Bobby¹⁹, raggiungendo la priorità AAA.

La valutazione tecnica ci garantisce una misura o una stima fornita da uno strumento, nel nostro caso un programma, un algoritmo, che ci dice se una certa condizione è rispettata o meno. Un validatore riceve in ingresso una URL, e restituisce in output la validità o meno del codice rispetto ad una grammatica formale pubblicata. Il dato prodotto è immediatamente disponibile per un uso univoco e ci fornisce un dato sia quantitativo che qualitativo, sulla natura del lavoro svolto e del risultato raggiunto.

Come strumento automatico, Bobby può individuare con certezza solo gli errori indipendenti dal giudizio soggettivo umano: segnala ad esempio, la mancanza di un testo ALT su un'immagine – e non dà quindi l'approvazione – ma non è in grado di stabilire se il linguaggio usato nel testo della pagina sia comprensibile o se il contenuto risulti navigabile e fruibile, requisiti fondamentali dell'accessibilità.

Perciò l'approvazione di una pagina da parte di Bobby va considerata solo quale momento iniziale della complessa procedura di riscontro dell'accessibilità, che implica anche il controllo del codice HTML e dei CSS.

Tale controllo consiste in ulteriori verifiche tecniche:

- validazione delle grammatiche formali fornito dal W3C, all'URL <http://validator.w3.org>;
- validazione dei CSS del W3C, all'URL <http://jigsaw.w3.org/css-validator>.

Sempre utilizzando strumenti di validazione automatici, sono state condotte alcune valutazioni sulla scelta del colore e sul contrasto tra colore del testo e colore dello sfondo, così come raccomandato dalla linea guida 2.

Gli strumenti utilizzati sono stati:

- Visccheck, (sviluppato da ricercatori della Stanford University) disponibile all'indirizzo www.vischeck.com, che permette di verificare la visualizza-

zione di una pagina intera o di una singola immagine, in base a diverse disabilità visive;

- Colour Contrast Analyser, disponibile all'indirizzo www.juicystudio.com/services/colourcontrast.asp, che verifica se la differenza di luminosità e di colore tra 2 tonalità (tipicamente sfondo e carattere) è superiore ad un certo valore (considerato di soglia), in base allo standard W3C.

Infine sono state condotte verifiche tecniche sulla compatibilità e le modalità di visualizzazione dei siti realizzati rispetto a diversi browser e loro specifiche versioni (Internet Explorer dalla versione 5.0 in poi, Mozilla 0.9, Opera dalla versione 5 in poi, Netscape dalla versione 5.0 in poi).

4.2 Verifica soggettiva

Il sito del Centro Trisaia e quello del Centro di Ispra sono stati inoltre valutati direttamente da utenti disabili (non vedenti e ipovedenti).

È stata organizzata una prima sessione di valutazione con utente esperto non vedente, secondo una metodologia "per obiettivi", in cui cioè l'utente esegue una serie di compiti e in cui si valuta la facilità nel raggiungere gli scopi prefissati e i tipi di difficoltà riscontrati.

La sessione di validazione con utente è stata quindi preceduta dalla preparazione del test stesso, in cui particolare attenzione è stata destinata all'individuazione di compiti di diverso livello di difficoltà e di diverso ordine logico-concettuale. In questo modo si è inteso valutare: la facilità nel trovare particolari argomenti all'interno nel sito (e quindi l'efficacia del modello di navigazione prescelto), la chiarezza e comprensibilità del contenuto, la semplicità di utilizzo di particolari strumenti all'interno delle pagine (ad esempio form o mappa del sito), i sistemi di orientamento previsti. L'utente ha navigato una serie di pagine per ogni sito

da validare (scelte tra le quelle più significative, in base alla presenza di particolarità e secondo gli obiettivi esplicitati sopra). Per ogni pagina gli sono stati assegnati una serie di *task*, che venivano verificati e per ognuno si riportavano delle annotazioni.

Il test ha visto l'utilizzo, da parte dell'utente non vedente, dello *screen reader* Jaws, ossia un lettore di schermo che dà al non vedente il controllo di ciò che c'è sullo schermo, traducendolo in voce.

Una seconda valutazione è stata poi effettuata in collaborazione con l'Unione Italiana Ciechi, sezione regionale di Potenza, con un utente ipovedente non esperto, che utilizzava sia lo stesso Jaws, sia l'ingranditore di schermo presente in Windows.

In questo caso la sessione di test, più che seguire pedissequamente l'elenco dei *task* previsti, si è basata sull'osservazione diretta della navigazione dell'utente.

Alcune conclusioni

I problemi individuati grazie alle fasi di testing hanno riguardato, oltre che aspetti tecnici dell'accessibilità (già comunque ampiamente testati e ottimizzati nella fase di verifica tecnica), elementi di usabilità e di fruibilità delle informazioni. Dal punto di vista specifico delle esigenze di un utente disabile, l'interazione diretta con essi permette di comprendere il loro modo di navigare e di "avvicinarsi" la pagina web, che non si basa, come nel caso del normodotato, su una prima visione olistica dell'insieme, ma su un sistema di tipo sequenziale che scompone la pagina, i suoi testi e le sue immagini, fruendoli uno dopo l'altro in verticale. In tal senso manca all'utente l'idea complessiva del sito che ha di fronte; ed è per questo che è particolarmente utile ricorrere ad elementi descrittivi aggiuntivi

(anche visibili solo agli *screen reader* nel caso siano ridondanti per utenti normodotati).

Tra le particolarità osservate nella navigazione con lo *screen reader* si rileva da un lato il notevole ricorso alla funzionalità di “elenco di tutti i link presenti in una pagina”, dall’altro l’utilizzo dei tasti di accesso rapido, soprattutto per quei supporti ricorrenti in un sito quali la mappa, i contatti, la ricerca.

In questi casi è evidente che, proprio per favorire il sistema di navigazione di queste categorie di utenti, è necessario intervenire con accorgimenti specifici a loro supporto.

I test con gli utenti disabili hanno però allo stesso tempo fornito *feedback* importanti anche per modifiche e miglioramenti più generali, che riguardano la presentazione e la chiarezza dei contenuti.

In particolare si è intervenuti su alcuni aspetti di semplificazione dei contenuti, rendendo per esempio le etichette del menu più chiare, o sugli ausili alla navigazione, tramite un’ottimizzazione delle funzionalità dei *breadcrumb*. Si tratta di caratteristiche che non riguardano unicamente target specifici di utenti ma, secondo un’idea di “progettazione universale”, il tener conto delle necessità degli utenti marginali si riflette in un miglioramento generale nell’utilizzo per tutti.

Tale cambiamento di paradigma sposta quindi il fuoco dai disabili, dalle loro limitazioni e dagli sforzi che “devono” essere fatti per favorirli, alle tecnologie web e alle loro potenzialità per migliorare l’accesso generale all’informazione. Si tratta di una prospettiva ribaltata, che non considera l’accessibilità come un sostegno dovuto ai disabili, una sorta di “prezzo” da pagare per favorirne l’integrazione, ma come un’opportunità di utilizzo ottimale delle potenzialità delle tecnologie a favore di un’utenza il più ampia possibile.

Bibliografia

1. Per approfondire il discorso sul concetto di accesso all’informazione si veda il saggio di H.E. Hudson “Universal Access to the New Information Infrastructure, pagg. 369-383, in *The Handbook of New Media*, 2002. Nel saggio si fornisce anche una distinzione tra i termini “universal access” e “universal service”, spesso usati in maniera intercambiabile, dove il servizio è la prestazione che viene fornita a tutti gli utenti e l’accesso è la possibilità di fruire di tali servizi, per utenti individuali, minoranze, istituzioni, imprese.
2. La definizione di accessibilità è presa dalla legge Stanca, legge 4/2004, consultabile e scaricabile sul sito web del Ministro per l’Innovazione e le Tecnologie, <http://www.innovazione.gov.it>
3. Al dato vanno aggiunti anche i disabili residenti nei presidi, giungendo così ad una stima complessiva di poco più di 2 milioni 800 mila disabili. Aggiungendo, inoltre, anche le persone al di sotto dei 6 anni e coloro che non sono in alcun modo accuditi, arriviamo a superare la cifra di 3 milioni e 100 mila (che si stima diventeranno 3 milioni e 200 mila nel 2008). Di questi, circa 1 milione e 400 mila sono affetti da invalidità motoria, 350 mila sono persone con cecità, 870 mila sono persone con sordità, 470 mila sono persone con insufficienza mentale e 92 mila sono persone affette da sordomutismo. La presenza di disabilità è ovviamente correlata all’età: tra le persone di 65 anni o più la quota di popolazione con disabilità è del 19,3%, e raggiunge il 47,7% tra le persone di 80 anni e più. Esiste anche una differenza di genere, a svantaggio di quello femminile: le donne rappresentano infatti il 66% delle persone disabili e gli uomini solo il 34%. Dalla stessa indagine risulta poi che in Europa i disabili sono 37 milioni e la stima a livello internazionale è di circa 750 milioni.
4. Una recente indagine condotta da IDC nel settore delle telecomunicazioni stima che, alla fine del 2002, sono 600.000 gli utenti italiani che si connettono a Internet in modalità wireless; la stima si spinge a prevedere 3 milioni di utenti nel 2005 solo in Italia e 30 milioni di utenti in tutta Europa.
5. Fonte: Censis e Forum PA, *Cittadini digitali*, 2003.
6. Cfr. Rodotà Stefano, *Tecnopolitica: la democrazia e le nuove tecnologie della Comunicazione*, Laterza, Roma-Bari, 1997.
7. Il documento, così come ulteriori approfondimenti sulle attività dell’ONU su questo tema, sono disponibili sul sito dell’Organizzazione <http://www.un.org/esa/socdev/enable>.
8. Per approfondimenti sulla legislazione degli USA in materia è consultabile il sito dell’Agenzia Federale per l’accessibilità, all’indirizzo www.access-board.gov.
9. Per consultare il documento e per disporre di un’ampia prospettiva sulle attività e le iniziative dell’Unione Europea in tema di non discriminazione riferita alle nuove tecnologie, è disponibile una raccolta edita dal CNIPA: “L’Unione Europea: i principi di non discriminazione e di integrazione sociale riferiti alle nuove tecnolo-

- gie-Quadro Normativo”, a cura del CNIPA – Segreteria Tecnico-Scientifica della Commissione, novembre 2003.
10. L’Unione Europea parla di “e-accessibility”, identificando con tale termine “l’accesso ai servizi da parte delle persone disabili utilizzando le tecnologie della comunicazione e dell’informazione. Cfr. *Libro Bianco Tecnologie per la disabilità: una società senza esclusi*, Commissione interministeriale sullo sviluppo e l’impiego delle tecnologie dell’informazione per le categorie deboli” Roma, marzo 2003; versione elettronica disponibile su www.innovazione.gov.it/librobianco.
 11. Il WAI specifica, nella versione WCAG 1.0, 14 linee guida, da rispettare per creare siti web accessibili. Ognuno dei 14 punti viene approfondito attraverso *checkpoint* che analizzano le situazioni tipiche proponendo adeguate soluzioni. Attualmente è in fase di bozza di lavoro la versione WCAG 2.0. L’obiettivo delle WCAG 2.0 è la generazione di contenuti per il web che siano percettibili, fruibili e comprensibili per le differenti tipologie di utenti e tecnologie di navigazione assistita sia oggi che nel futuro. Per un approfondimento consulta il sito del W3C www.w3c.org alla sezione “Accessibility”.
 12. Attualmente CNIPA – Centro Nazionale per l’Informatica nella Pubblica Amministrazione; opera presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri ed è stato istituito con le norme contenute nell’articolo 176 del decreto legislativo n. 196 del 30 giugno 2003. Con tale decreto, l’Autorità per l’informatica nella pubblica amministrazione è stata trasformata in Centro Nazionale per l’Informatica nella Pubblica Amministrazione <http://www.cnipa.gov.it>.
 13. L’intero articolo è consultabile sul sito: http://www.pubbliaccesso.it/biblioteca/documentazione/chiave_lettura_legge_stanca.htm
 14. A. Bernardini, D. D’Aloisi, S. Ragazzini, *Valutazione sperimentale dell’accessibilità dei siti della P.A.*, versione elettronica disponibile sul sito www.webx-tutti.it.
 15. Le 14 linee guida WAI dividono i punti di controllo secondo la loro priorità, individuando tre livelli:
 - Priority 1 - MUST: Problemi che devono essere risolti perchè impediscono l’accesso ai contenuti a determinate categorie di utenti
 - Priority 2 – SHOULD: Problemi che dovrebbero essere risolti per facilitare l’uso della pagina a determinate categorie di utenti
 - Priority 3 – MAY: Problemi che possono essere risolti al fine di migliorare l’utilizzo della pagina da parte di alcune categorie di utenti.
 16. Per un approfondimento vedi: The Web Credibility Project, www.webcredibility.org.
 17. In particolare vedere su questo punto il libro di Steve Krug *Don’t make me think*. L’autore sottolinea infatti l’esistenza nel web di convenzioni che aiutano l’utente ad orientarsi nella rete. cfr. Krug Steve, *Don’t make me think*, Hops libri, Milano, 2001.
 18. Schema di Regolamento per l’attuazione della legge Stanca, art. 1, disponibile su www.pubbliaccesso.gov.it.
 19. Bobby è uno strumento informatico che verifica la rispondenza dei siti ai requisiti di accessibilità, facendo riferimento a quanto stabilito nelle apposite linee guida pubblicate dal WAI-W3C. È stato creato dal Center for Applied Special Technology (CAST). Ne esiste una versione on line gratuita, all’indirizzo <http://bobby.watchfire.com>.

Biosensori elettrochimici a inibizione basati su molecole e cellule ricombinanti

WALTER VASTARELLA,
JAN MALY, AMEDEO MASCI,
MARIA RITA MONTEREALI,
LIVIA DELLA SETA,
BRUNO LANZA,
CARLO CREMISINI,
ROBERTO PILLOTON

ENEA
UTS - Protezione
e Sviluppo dell'ambiente e del
Territorio, Tecnologie Ambientali

L'impiego di biosensori permette di ridurre i tempi e i costi delle analisi ambientali. Altri possibili campi di applicazione sono la diagnostica clinica e alimentare. Per ottenere biosensori elettrochimici, biomolecole o cellule geneticamente modificate sono state immobilizzate su elettrodi stampati. Nell'articolo sono riportati esempi applicativi per l'analisi ambientale: la rivelazione dei fenoli negli scarichi industriali, la rivelazione di composti organofosforici, l'identificazione di erbicidi triazinici

Electrochemical biosensor based on recombinant cells and molecules

Abstract

Engineered biomolecules and cells immobilised on screen printed electrodes were employed for biosensing purposes in environmental analysis.

*Three examples are reviewed: adapted cells of *Pseudomonas putida* used to detect phenol detection in industrial wastes; engineered yeasts (*Kluyveromyces lactis*), which express acetyl cholinesterase activity from rat, used for detection of organophosphorus compounds; engineered photosystem II from *Thermosynechococcus elongatus*, used to detect herbicides.*

metodi bioanalitici rivestono particolare rilievo perché consentono di ridurre i tempi e i costi delle analisi ambientali, impiegando molecole naturali o microrganismi interconnessi a trasduttori di segnale elettroottici per il riconoscimento di specie o classi di composti in matrici analiticamente complesse.

Nel 2003 gli studi, le ricerche e le collaborazioni, già da tempo avviate tra le diverse unità dell'ENEA, sono giunte all'aggregazione delle culture e delle competenze necessarie per un tema multidisciplinare come i biosensori (chimica analitica e organica, elettrochimica, microbiologia e biologia molecolare, elettronica) in un quadro favorevole di finanziamenti provenienti dai Piani Triennali Regionali, dal MIUR (FIRB), dalla comunità europea (5FW) e di proficue collaborazioni nazionali (Università di Roma, Firenze, Molise, CNR-Istituto Nanotecnologie e Fotonica, ITC-IRST divisione Microsistemi, Istituto della Nutrizione ecc.) e internazionali (CEA-Sezione di Bioelettronica e Bioenergetica-Francia, Cornell University-USA, Osaka University-Giappone, Accademia delle Scienze-Repubblica Ceca).

I biosensori, dispositivi analitici risultanti dall'accoppiamento di un mediatore biologico, che opera il riconoscimento selettivo dell'analita, con un trasduttore che trasforma il segnale chimico in un segnale elettronico, hanno recentemente conosciuto un momento di sintesi particolarmente favorevole all'ENEA.

Sono stati realizzati semplici dispositivi portatili basati su biosensori per i radicali liberi, per i fenoli e i polifenoli, per i pesticidi organofosforici e per gli erbicidi fotosintetici, impiegando enzimi purificati come l'acetilcolinesterasi e la fosfatasi acida, batteri adattati (*Pseudomonas putida*), lieviti ingegnerizzati (*Kluyveromyces lactis*) e il PSII purificato da cianobatteri termofili (*Thermosynechococcus elongatus*). I trasduttori elettrochimici per

questi biosensori sono stati ottenuti con tecniche di produzione massiva come la stampa serigrafica di materiali elettrochimici compositi e nanodispersi (nanoparticelle di oro e nanotubi di carbonio) in matrici polimeriche su supporti di materiale plastico (PVC). I trasduttori così preparati realizzano l'obiettivo del dispositivo "usa e getta" per il costo ridotto e le caratteristiche di riproducibilità e sensibilità paragonabili a quelle di dispositivi da laboratorio più costosi.

Accanto agli aspetti applicativi e in rapporto sinergico con essi, si è mossa la ricerca di base sui biosensori e sui dispositivi bioelettronici, che ha come obiettivi lo sviluppo di microsistemi per la diagnostica clinica, alimentare ed ambientale, per effettuare micro-analisi a livello molecolare con metodologie microanalitiche basate sulle strutture biomolecolari, sulle nanotecnologie e in particolare sul patterning di biomolecole su μ -array di sensori. È su questi aspetti che le interazioni multidisciplinari con laboratori ed istituzioni italiane ed estere hanno dato i risultati più promettenti portando, all'inizio del 2004, alla presentazione con altri partner di una proposta progettuale per la realizzazione di un "Laboratorio μ -Sistemi innovativi per la Genomica e la Postgenomica" (FIRB2003). Infatti l'ingegneria genetica e le nanotecnologie rappresentano nuovi e potenti approcci per ottenere strutture molecolari più semplici con nuove o migliorate proprietà (specificità, stabilità, sensibilità) assemblate in monostrati molecolari. Un aspetto di particolare rilievo scientifico e tecnologico, infatti, è rappresentato dalla preparazione di film ordinati e orientati di biomolecole che conservino le loro funzioni biologiche. Tra le varie strutture biomolecolari, i polinucleotidi sono ampiamente utilizzati come sonde molecolari grazie all'ibridazione tra catene nucleotidiche complementari che viene normalmente sfruttata nelle principali tecniche della biolo-

gia molecolare ed è il fondamento della nascente tecnologia del "DNA Chip", un approccio rivoluzionario alla diagnostica genetica e all'analisi genomica che rivela il contenuto di specifiche regioni geniche attraverso l'impiego di matrici miniaturizzate di sonde polinucleotidiche. In questa ottica e con questi obiettivi, i risultati di rilievo durante il 2003 hanno riguardato:

- l'immobilizzazione reversibile e orientata di film monomolecolari di diverse proteine ingegnerizzate impiegando una procedura originale di sintesi organica elettrochimica che ha consentito di indirizzare ciascuna biomolecola su un elettrodo specifico di un μ -array;
- la preparazione per via elettrochimica di cablature molecolari conduttrici in scala nanometrica nell'intorno di proteine immobilizzate che consentono di osservare il trasferimento diretto, senza la necessità di mediatori, di elettroni dal sito attivo delle biomolecola alla superficie di un elettrodo in un μ -chip;
- grazie allo specifico orientamento della biomolecola, alla ridotta distanza dal μ -elettrodo (8 nm) e all'impiego di cavi conduttori molecolari (50-60 nm), è stata osservata per la prima volta l'attività perossidasi nel citocromo b-559, componente enigmatico del fotosistema 2 del quale, pur essendo conosciuta la struttura ad alta risoluzione (3,8 Å), rimangono oscuri il ruolo, la funzione e il comportamento red-ox.

Questi risultati di rilievo costituiscono più di una premessa per la realizzazione di dispositivi bioelettronici molecolari su singola molecola oligonucleotidica con un approccio *bottom-up* differente da quello seguito normalmente (*top-down*) con tecniche costose che non tengono conto delle proprietà e delle peculiarità chimiche offerte dalle molecole e dalle macromolecole nell'auto-assemblarsi in modo orientato sulle interfacce elettroniche.

Abbreviazioni

AChE: Acetil Colinesterasi; **AChCl**: AcetilColina Cloruro; **Atrazina**: 2-cloro-4-etilamino-6-isopropilamino-1,3,5-triazina; **BSA**: bovine serum albumin; **ChOx**: Colina Ossidasi; **C.V.**: Coefficiente di variazione; **DQ**: tetrametil-p-benzochinone; **FeCy**: Potassio Ferricianuro; **GA**: Glutaraldeide; **LED**: light-emitting diode; **LOD**: Limit Of Detection; **LOQ**: limit of quantitation; **OP**: insetticidi organofosforici; **PB**: Tampone fosfato [0.1M (pH=7,0)]; **PBS**: Tampone fosfato salino (NaCl 0,1M); **PSII**: fotosistema II; **RE**: Elettrodo di riferimento (Ag/AgCl); **SP**: Screen Printing; **WE**: Elettrodo di lavoro.

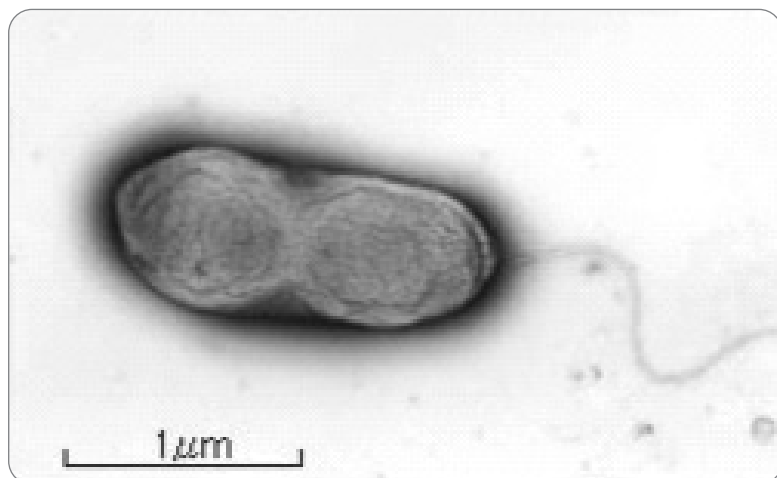
Biosensori microbici stampati per fenoli e polifenoli ²

Le cellule di *Pseudomonas putida* sono state coltivate in presenza di fenolo come unica fonte di carbonio organico e immobilizzate sulla superficie di diversi trasduttori (elettrodo di Clark commerciale, elettrodo stampato d'oro commerciale⁴, elettrodo di grafite stampato in laboratorio⁷) impiegando gelatina successivamente reticolata con GA.

Inizialmente è stato impiegato un elettrodo commerciale per l'ossigeno per valutare la risposta di cellule indotte e non indotte. Infatti, come le cellule adattate in fenolo, anche quelle cresciute in glucosio come principale fonte di carbonio sono state impiegate per realizzare un biosensore con diversa specificità verso differenti inquinanti. La valutazione è stata eseguita tramite calibrazioni con diversi composti fenolici in soluzioni standard e su acque di scarico industriali sintetiche. Il microorganismo adattato e non, è stato successivamente immobilizzato anche su elettrodi stampati commerciali di oro e, infine, su elettrodi stampati di grafite prodotti in laboratorio.

Coltura di *Pseudomonas putida*

Pseudomonas putida DSM 50026 (figura 1) è stato coltivato in "Nutrient Agar". Per ottenere le cellule non adattate, è stato usa-

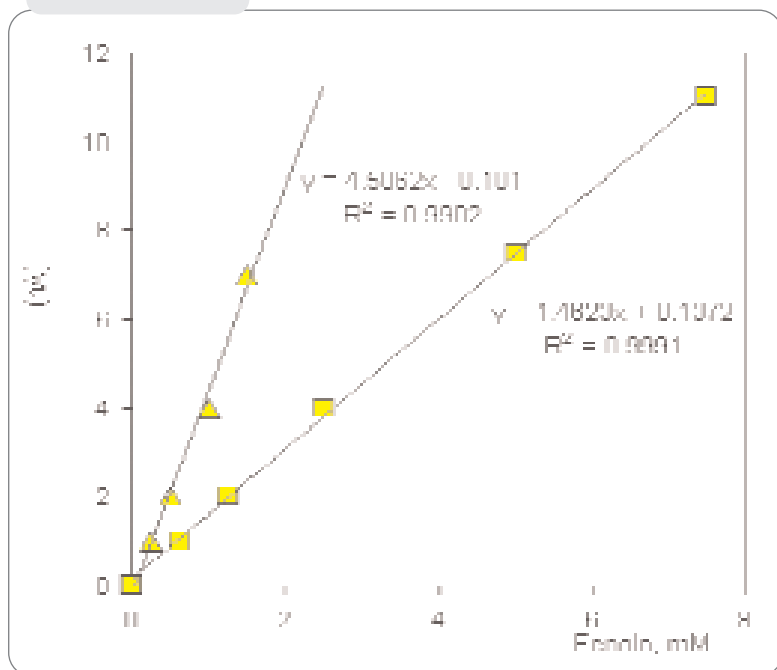
**Figura 1**

Pseudomonas putida DSM 50026 è un microorganismo ingegnerizzato gram negativo, polare, flagellato e unicellulare

to glucosio come sorgente di carbonio. Il microorganismo è stato inoculato nel mezzo di coltura (MSM) contenente 250 mg/l di glucosio e incubato a 28 °C. Dopo 24 ore la biomassa è stata separata per centrifugazione e risospesa in MSM e ancora centrifugata. Infine il supernatante è stato rimosso ed è stata ottenuta una pasta cellulare che è poi stata usata per realizzare il biosensore. Le cellule adattate al fenolo (250 mM) sono state ottenute attraverso le seguenti operazioni: il microorganismo è stato inoculato ogni giorno in MSM con crescente concentrazione di fenolo e decrescente concen-

Figura 2

Calibrazione per il fenolo in 50 mM KPi e MSM, pH 6,9



trazione di glucosio fino alla concentrazione finale di 250 mg/l di fenolo. Dopo 24 h, quando le cellule sono cresciute, la biomassa è separata per centrifugazione e sospesa in MSM e poi ricentrifugata. Infine il supernatante è stato rimosso ed è stata ottenuta una pasta cellulare che è poi stata usata per realizzare il biosensore. La crescita cellulare è stata seguita spettrofotometricamente misurando la densità ottica a 560 nm.

Biosensore microbico basato su elettrodo di Clark

Con il biosensore microbico basato su elettrodo di Clark sono state messe a punto le condizioni di misura. Nella figura 2 è riportata la calibrazione del fenolo impiegando due diverse soluzioni tampone: PB e MSM (Mineral Salt Medium). La sensibilità più elevata è stata osservata nel tampone MSM che era già stato impiegato come mezzo di coltura e per questo motivo è stato scelto come tampone di misura per tutti i successivi esperimenti. In queste condizioni sperimentali il tempo di risposta del biosensore è di 5 minuti.

La specificità ai diversi substrati fenolici delle cellule di controllo e di quelle adattate sono state determinate inizialmente con l'elettrodo di Clark commerciale. Come si può vedere, entrambi i tipi di cellule mostrano una risposta per il fenolo, acido 2,6-diidrossibenzoico e acido benzoico. Le cellule adattate rispondono anche a DOPA, tirosina, acido siringico, resorcina, acido picrico, metil parathion, mentre nessun segnale è osservato con il biosensore ottenuto con le cellule di controllo. Questo può essere spiegato con l'effetto dell'adattamento che ha causato una differente specificità per i substrati considerati. I nostri risultati (tabella 1) mostrano che è possibile ottenere biosensori diversi utilizzando le cellule di *Pseudomonas putida* adattate e non.

La biodegradazione microbica dei fenoli infatti è determinata da diversi fattori:

- 1) fattori diffusivi attraverso la membrana cellulare che possono operare a) un trasporto passivo (idrofobicità, logP, solubilità, pH) e b) un trasporto attivo mediato da specifici meccanismi di membrana;
- 2) fattori cinetici come il raggiungimento del sito attivo (fattori sterici) e la velocità della reazione enzimatica (fattori elettronici, cinetici);
- 3) molteplicità delle vie metaboliche: a) rottura dell'anello aromatico che può avvenire, dopo l'idrossilazione a catecolo, con il meccanismo dell'extra diolo (in posizione meta) o dell'intra diolo (in posizione orto) come riportato

| Composti fenolici | Adattate | Segnale, (I, nA)* Controllo |
|--------------------------|----------|--------------------------------|
| Fenolo | 6,5 | 61,5 |
| Catecolo | - | 23,0 |
| L-DOPA | 23,5 | 2,0 |
| L-Tirosina | 38,0 | - |
| Acido L-Siringico | 30,5 | - |
| Acido caffeico | - | - |
| Idrochinone | - | 34,5 |
| Adrenalina | - | 112,0 |
| Acido benzoico | 59,0 | 38,5 |
| Resorcina | 6,5 | - |
| Acido picrico | 15,5 | - |
| 3-idrossitiramina | - | 0,5 |
| Ac.2,6-diidrossibenzoico | 10,5 | 6,5 |
| 2,3-diidrossinaftalene | - | 28,0 |
| Toluene | 2,0 | - |
| Metil parathion | 11,5 | - |

*concentrazione dei composti fenolici =1 mM

Tabella 1
Risposta a diversi fenoli dei biosensori ottenuti con cellule di controllo e cellule adattate immobilizzate su un elettrodo di Clark

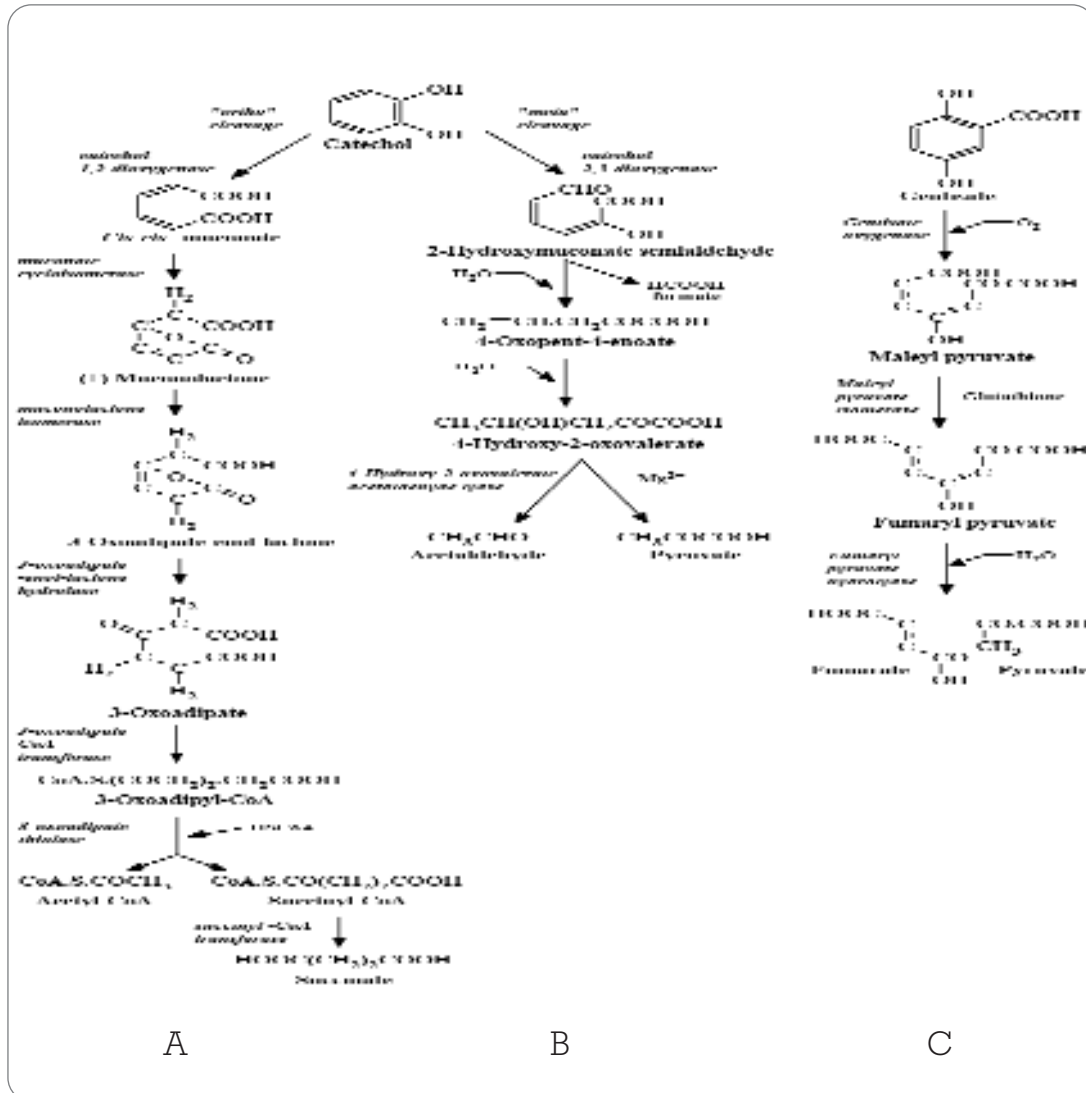


Figura 3
Le vie metaboliche di degradazione dei fenoli: A) e B) rottura dell'anello aromatico, C) via del gentisato

| Tipo di cellule | | Linearità (μM) | Sensibilità ($\text{nA}\cdot\mu\text{M}^{-1}$) | R^2 |
|-----------------|------------------------|-----------------------------|--|--------|
| Controllo | Fenolo | 0,10-1,00 | 16,54 | 0,9986 |
| | Catecolo | 0,50-5,00 | 5,07 | 0,9971 |
| | Idrochinone | 0,25-1,00 | 15,20 | 0,9972 |
| | Acido benzoico | 0,10-0,75 | 15,82 | 0,9981 |
| | 1,2-Diidrossinaftalene | 0,25-2,50 | 8,01 | 0,9992 |
| Adattate | Fenolo | 0,50-6,00 | 5,03 | 0,9995 |
| | L-tirosina | 0,02-0,20 | 87,08 | 0,9988 |
| | Acido L-siringico | 0,02-0,20 | 37,01 | 0,9852 |
| | L-DOPA | 0,02-0,20 | 61,88 | 0,9989 |
| | Metil Parathion | 0,30-2,50 | 3,64 | 0,9917 |

Tabella 2

Curve di calibrazione di biosensori microbici ottenuti con elettrodi stampati (oro) commerciali con diversi substrati fenolici con cellule adattate e di controllo

nella figura accanto, e b) la via metabolica del gentisato che porta a diversi prodotti della degradazione (Acetyl CoA, succinato, fumarato, piruvato, acetoacetato, acetato).

I dati riportati nella tabella 1 suggeriscono che nelle cellule adattate siano state soppresse le vie metaboliche che portano alla rottura dell'anello aromatico (figure 3A e 3B) e che la degradazione dei fenoli proceda attraverso la via del gentisato (figura 3C)¹⁷.

Biosensore microbico basato su elettrodi d'oro commerciali

Sono stati realizzati biosensori microbici basati su elettrodi stampati commerciali con elettrodo di lavoro in oro e nella tabella 2 sono riportate le curve di calibrazione per entrambi i tipi di cellule. Per

Tabella 3

Applicazione dei biosensori microbici (oro) a rifiuti industriali acquosi

| Fenolo (μM) | Concentrazione rivelata (μM) | |
|--------------------------|---|-----------------|
| | Adattate | Controllo |
| (Campione 1) | | |
| 0,25 | | 0,24 \pm 0,01 |
| 0,50 | | 0,52 \pm 0,02 |
| 1,00 | 1,01 \pm 0,02 | |
| 2,00 | 1,98 \pm 0,05 | |
| (Campione 2) | | |
| 0,25 | | 0,25 \pm 0,01 |
| 0,50 | | 0,51 \pm 0,03 |
| 1,00 | 1,01 \pm 0,02 | |
| 2,00 | 2,02 \pm 0,03 | |

Ogni analisi è stata effettuata 7 volte

questi composti sono stati determinati ed indicati i campi di linearità. Al disopra di questi livelli di concentrazione si osserva saturazione da substrato. Questi biosensori sono stati applicati su due campioni di acque di scarico sintetiche. A questo scopo, sono state preparate due soluzioni con la seguente composizione.

| Campione 1 | Campione 2 |
|--|-----------------------------|
| (NH ₄) ₂ SO ₄ (0,5 g), | Come il campione 1 |
| MgSO ₄ (0,1 g), | +NaCl (50 g/l) |
| MnSO ₂ (0,01 g), | Fenolo (100 g/l) in 1 M HCl |
| FeSO ₄ (0,0005 g) | |
| Fenolo aggiunto in concentrazione nota | |
| Acqua di rubinetto | |
| pH 7,2 | |

Entrambe le soluzioni sono state aggiunte al tampone di misura (MSM) con diverse diluizioni.

I segnali ottenuti sono molto simili o coincidenti alle soluzioni di fenolo standard (tabella 3) mostrando che le matrici dei due campioni sintetici non hanno alcun effetto sul biosensore.

Biosensore microbico ottenuto con elettrodi stampati di grafite

Le medesime prove condotte sugli elettrodi di oro sono state condotte sugli elettrodi di grafite prodotti in laboratorio. I risultati della sperimentazione sono riportati nelle successive tabelle 4 e 5.

Questo biosensore, simile ad altri in letteratura per il tipo di trasduttore stampato e per le condizioni miti impiegate, mostra un LOD di un ordine di grandezza inferiore rispetto a quelli già realizzati. L'uso della membrana di acetato di cellulosa, depositata sull'elettrodo di lavoro, sembra essere responsabile di questo comportamento interessante. La diffusione dell'ossigeno controllata da questa membrana consente di migliorare il rapporto segnale rumore e di ottenere migliori LOD.

| | Fenolo | L-Tirosina | L-DOPA |
|--|---------------|----------------|---------------|
| Equazione ^a | Y=19,58X+0,01 | y=112,88X-1,74 | y=78,87X-0,48 |
| Linearità (M) | 0,1-1 | 0,05-1 | 0,05-1 |
| Coefficiente di correlazione (r ²) | 0,9976 | 0,9977 | 0,9996 |
| Deviazione standard (D.S.) ^b | ±0,008 (n=7) | ±0,002 (n=5) | ±0,006 (n=5) |

^a il coefficiente angolare è in nA/μM, l'intercetta in nA
^b Le misure di ripetibilità e il calcolo della deviazione standard sono state ottenute con n repliche di una soluzione 0,25 μM di composto fenolico

Tabella 4
Caratteristiche analitiche del biosensore microbico per fenolo, L-tirosina e L-DOPA

Biosensori enzimatici o microbici stampati per OP

I pesticidi sono ampiamente tuttora utilizzati in agricoltura, in virtù della loro elevata efficacia e della relativamente veloce degradazione nell'ambiente. Il problema reale è purtroppo legato al fatto che il loro processo di riciclo e di distribuzione nell'atmosfera provoca danni irreversibili sugli organismi viventi, quando permangono nei suoli e nelle acque per un tempo sufficientemente lungo da alterare la catena alimentare. Essi agiscono principalmente sul sistema nervoso centrale e periferico, inibendo i siti attivi di determinati enzimi o bloccando l'attività di alcuni meccanismi cellulari.

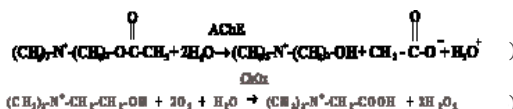
La valutazione e il monitoraggio di livelli anche bassi di pesticida resta una problematica ancora lungi dall'essere risolta, soprattutto in presenza di sostanze interferenti presenti nella matrice da analizzare. HPLC, GC-MS, ELISA sono metodologie d'analisi comunemente utilizzate ma prevedono comunque costi e tempi ancora alti e non forniscono alcuna informazione diretta degli effetti della loro tossicità sull'uomo. I biosensori rappresentano invece uno strumento utile per lo *screening* sul campo per valutare la tossicità di campioni ambientali, attraverso la misura dell'attività residua di uno specifico enzima, dopo esposizione a differenti classi di inquinanti.

La misura dell'inibizione dell'attività colinesterasica ad opera dei pesticidi OP e carbammici, è stata ampiamente studiata¹⁸⁻⁴¹. Il biosensore risulta dalle due rea-

| Fenolo aggiunto (μM) | Fenolo rivelato (μM) |
|----------------------|----------------------|
| 0,10 | 0,11±0,01 |
| 0,25 | 0,25±0,01 |

Tabella 5
Applicazione del biosensore stampato ad acque di scarico industriale sintetiche (n=7)

zioni (1) e (2) catalizzate da AChE e ChOx:



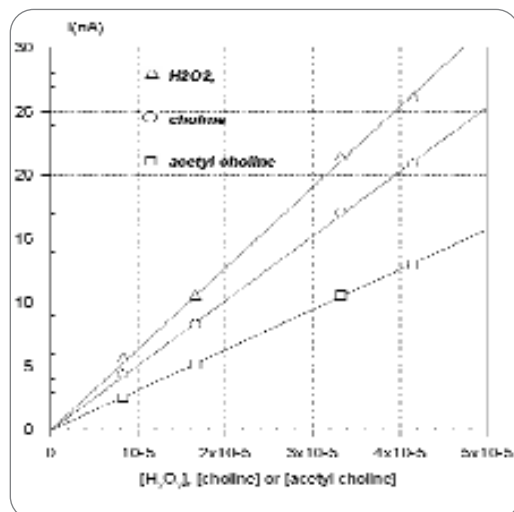
L'attività del primo enzima (AChE) risulta proporzionale alla concentrazione di pesticida in soluzione, mentre ChOx trasforma la Ch prodotta dalla prima reazione in betaina e perossido di idrogeno che può essere rivelato con un comune sensore elettrochimico.

Nel passato l'accoppiamento delle due reazioni enzimatiche è stato realizzato in diverse maniere:

- 1) i due enzimi puri sono stati co-immobilizzati su una membrana posta sulla superficie di un elettrodo di Pt. L'inibizione irreversibile dell'AChE ad opera dei pesticidi nel campione rende presto inutilizzabili questi biosensori dopo poche misure²⁷.
- 2) La ChOx è stata immobilizzata su una membrana posta sull'elettrodo di Pt mentre l'AChE è stata utilizzata libera in soluzione^{28,35}. Anche questo protocollo ha presentato seri problemi per la forte tendenza della AChE ad adsorbirsi sulla membrana e a trasformare il biosensore per la Ch in un biosensore per l'AChCl come risulta da alcuni nostri esperimenti riportati in figura 4.

Figura 4

Rette di calibrazione per perossido di idrogeno (Δ) e Ch (\circ) ottenute con un biosensore a Ch. Dopo tre misure in presenza di AChE libera in soluzione il biosensore diventa sensibile anche alla AChCl (\square) come si può osservare dalla curva di calibrazione



3) La ChOx è stata immobilizzata su una membrana posta sull'elettrodo di Pt mentre l'AChE è stata immobilizzata su una membrana posta in soluzione²⁹. Questo metodo consentiva di misurare concentrazioni di pesticida dell'ordine dei 100 ppt poiché realizzava un protocollo di misura basato sulla separazione delle diverse fasi:

- incubazione dell'AChE immobilizzata nel campione
- lavaggio della membrana AChE per l'eliminazione delle possibili interferenze
- incubazione della membrana AChE nella soluzione di substrato (AChCl)
- estrazione della membrana
- misura della Ch prodotta dalla reazione catalizzata da AChE con un biosensore a Ch.

Dalla separazione negli stadi (a-e) deri-

vano un certo numero di vantaggi:

- le operazioni a-d possono essere condotte in parallelo riducendo il tempo richiesto per la misura di un campione.
- i tempi delle due incubazioni (a e c) possono essere modulati in base alle concentrazioni di pesticidi aspettate per la tipologia specifica di campioni analizzati. È possibile ridurre notevolmente i tempi di analisi se i campioni contengono abitualmente elevate concentrazioni di pesticida (20-100 ppb). Viceversa, per raggiungere concentrazioni molto basse (100 ppt, acque di falda) è possibile diminuire la superficie delle membrane che supportano AChE ed incrementare i tempi delle incubazioni (a e c).
- l'operazione (e) è condotta in una soluzione standard priva di interferenze sull'elettrodo, può essere realizzata con un biosensore a Ch privo di membrane selettive e quindi più sensibile.

Mentre la procedura 2 (AChE libera in soluzione) è senz'altro da evitare per il problema dell'adsorbimento dell'AChE sulla membrana dell'elettrodo a Ch, i metodi 1 (AChE e ChOx co-immobilizzati) e 3 (AChE e ChOx immobilizzati su diverse membrane) possono essere considerati complementari a seconda dei requisiti richiesti dalla specifica tipologia di campione*.

* Infatti, le procedure di calcolo dell'inibizione dell'AChE ad opera dei pesticidi [35], richiedono normalmente la misura dell'attività enzimatica prima (slope I_b) e dopo (slope I_e) l'esposizione dell'enzima all'inibitore. L'attività enzimatica può essere calcolata con la formula:

$$U (\text{mol/min}) = \frac{\text{slope} (\text{nA/min})}{I_b (\text{nA})} \times [\text{Ch}] (\text{mol/L}) \times V_b (\text{L})$$

mentre l'attività residua (A_r) è e:

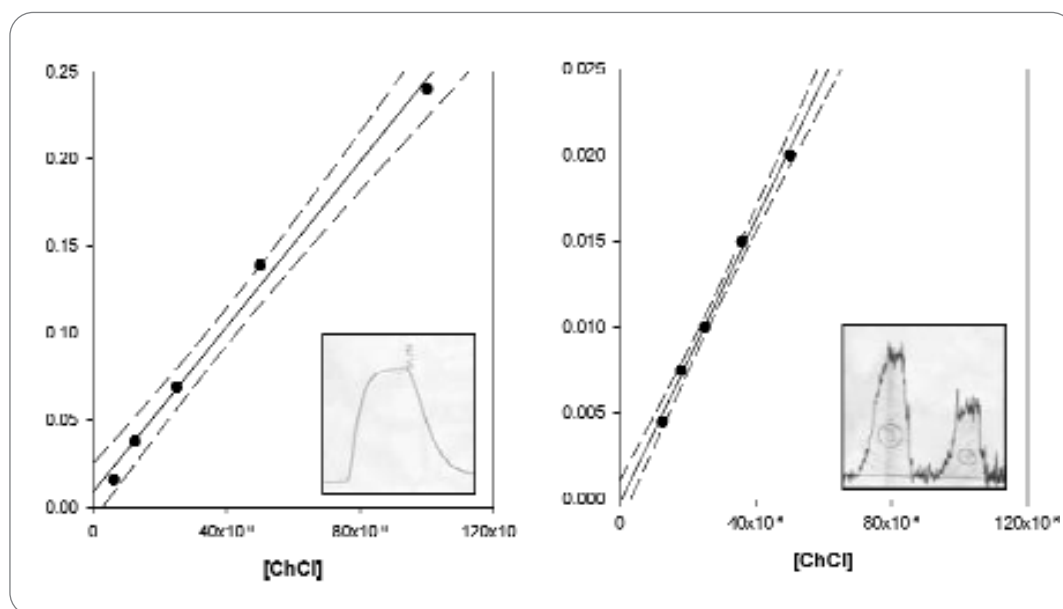
$$A_r (\%) = \left(1 - \frac{U_e}{U_b}\right) \times 100$$

È dimostrabile che la sensibilità

$$\text{sensibilità} = \frac{\text{cost}}{U_b}$$

J_b e U_e :

è proporzionali alle unità di AChE

**Figura 5**

A) Retta di taratura e curve di confidenza (95%) per l'elettrodo commerciale di Pt (Idronaut, Brugherio, Mi).
 $y = (2,4 \pm 0,1)10^3 x + (8 \pm 6)10^{-3}$; $R^2 = 0,9931$; $CV = 4,2\%$
 B) Retta di taratura e curve di confidenza (95%) per l'elettrodo stampato di grafite su PVC;
 $y = (4,1 \pm 0,1)10^2 x - (2 \pm 5)10^{-4}$; $R^2 = 0,9963$; $CV = 2,4\%$

La procedura di analisi 3 per la determinazione degli insetticidi OP è stata ottimizzata. Essa si avvale dell'uso di un biosensore amperometrico a ChOx per misurare l'attività residua dell'enzima AChE immobilizzato su membrane di nylon. La membrana con l'AChE non è posizionata sul biosensore ma utilizzata separatamente. Questo accorgimento consente di eseguire un gran numero di incubazioni parallele delle membrane nel campione contenente il pesticida, (stadio lento della misura, tipicamente 30 minuti) e di eseguire la misura dell'attività residua dell'AChE con un solo biosensore a Ch che opera su soluzioni di substrato sintetiche senza entrare in contatto diretto con i campioni e i relativi interferenti eventualmente presen-

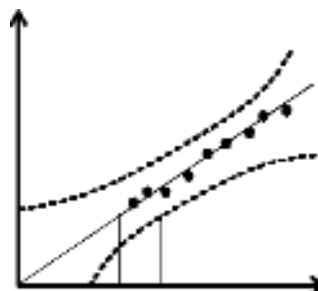
ti. È stata effettuata la comparazione di due sistemi, il primo basato sul classico elettrodo commerciale a perossido di idrogeno e impiegato come termine di confronto, il secondo basato su un elettrodo stampato.

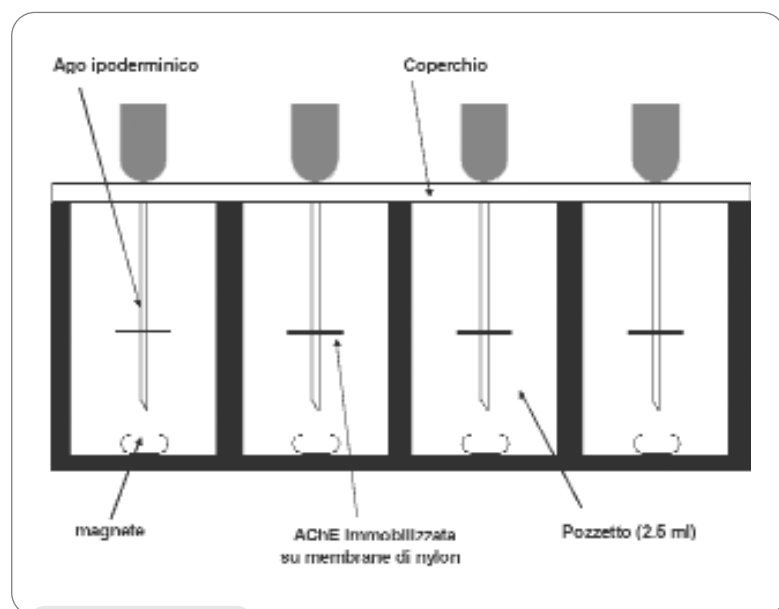
I risultati ottenuti con gli enzimi purificati sono stati estesi all'enzima AChE prodotto da un lievito ingegnerizzato. In questo modo sono stati minimizzati drasticamente i costi del sistema analitico. Tutte le misure di inibizione sono state eseguite con paoroxon come pesticida modello.

Biosensore a ChOx

Il range di misura per la Ch degli elettrodi stampati è stato confrontato con quello degli elettrodi commerciali tra-

** Per il calcolo del LOD si è adottato il procedimento grafico riportato in figura ed utilizza il limite di confidenza per individuare sia il LOD sia il LOQ. Il significato di questi due limiti è importante nel fornire i risultati di un'analisi condotta mediante un retta di calibrazione. Si individuano tre possibilità:
 -il valore calcolato è inferiore al LOD: in questo caso non si può fornire il valore calcolato ma si deve fornire un'indicazione del tipo inferiore a $X_{(lod)}$
 -il valore calcolato è compreso tra il LOD e il LOQ: in questo caso si può dare come risultato il valore calcolato ma senza alcuna informazione sulla sua incertezza (deviazione standard)
 -il valore calcolato è maggiore di LOQ: in questo caso il risultato può essere fornito completo di deviazione standard. Queste possibilità sono rappresentate nella figura.



**Figura 6**

Il dispositivo per condurre in parallelo su 24 membrane l'inibizione e l'incubazione per lo "sviluppo" dell'attività colinesterasica, è costituito da un coperchio di silicone sul quale sono posizionati 24 aghi ipodermici su ciascuno dei quali si inserisce la membrana enzimatica. Questo accorgimento consente di inserire contemporaneamente tutte le 24 membrane nelle soluzioni standard di pesticida, nei campioni, nelle soluzioni di lavaggio e di substrato (AChCl) contenute in una piastra a 24 pozzetti da 2,5 ml ciascuno

zionali di Pt (Iatronaut, Brugherio, Mi). Le prove sono state tutte effettuate in flusso tramite la cella descritta precedentemente.

Come si deduce dai grafici di figura 5, l'elettrodo stampato (slope=0,4 nA/mM) è meno sensibile alla Ch di quello commerciale (2,4 nA/mM) ma, nonostante il più elevato rumore di fondo che si può osservare nei tracciati, presenta un migliore LOD calcolato con il metodo grafico di Meier e Zund**⁶⁵ (0,4 contro 0,8 μ M) ed un miglior CV (2,4% contro 4,2%).

Immobilizzazione e misura dell'attività dell'ACHe

L'immobilizzazione di questo enzima su supporti insolubili migliora il rendimento del biosensore rispetto all'ACHe libera in soluzione che, adsorbendosi sull'elettrodo determina segnali falsati. La scelta del tipo di membrana su cui effettuare l'immobilizzazione dell'enzima è un altro fattore importante per l'ottimizzazione del metodo. Infatti diversi sono i parametri che influiscono sulla scelta della procedura di immobilizzazione, del materiale di sup-

porto e tra essi ricordiamo la resa di immobilizzazione, la stabilità meccanica del supporto e catalitica del mediatore biologico. Considerazioni preliminari hanno motivato la scelta del nylon come supporto di immobilizzazione. Queste considerazioni sono state di carattere essenzialmente funzionale, la resistenza meccanica del supporto e la semplicità delle operazioni manuali di utilizzo ne hanno motivato la scelta.

Sono state impiegate reti di nylon funzionalizzate in laboratorio con gruppi aldeidici e membrane di nylon commerciali con gruppi amminici superficiali (PALL amminiche).

Dopo l'immobilizzazione covalente dell'enzima è necessario rimuovere dalle membrane la frazione di enzima adsorbito con tre lavaggi di 10 min ciascuno in un bagno ad ultrasuoni e in PB, NaCl 1M. Dopo questo trattamento l'attività immobilizzata covalentemente su ciascuna membrana è variabile (15-50 mU/membrana) ma stabile come si può concludere dal grafico di figura 7 dove è riportata l'attività di 24 membrane misurata in due momenti successivi.

La misura dell'attività enzimatica immobilizzata sulle membrane è ottenuta per incubazione in soluzioni di AChCl in PB in pozzetti da 2,5 ml, impiegando un dispositivo che consente la rapida estrazione delle membrane dal batch di reazione (figura 6).

Impiego di lieviti ingegnerizzati con AChE di ratto espresso come ectoenzima

Dopo le fasi di ottimizzazione con l'enzima purificato e l'elettrodo commerciale o quello stampato, è stato impiegato un lievito (*Kluyveromyces lactis*) ingegnerizzato che esprime sulla parete cellulare un'attività acetilcolineste-

rasica di ratto^{40,41}. I lieviti sembrano essere ideali per realizzare biosensori semplici da preparare, stabili nel tempo ed economici. Infatti, l'uso di AChE liofilizzata commerciale rappresenta la parte più economicamente consistente del protocollo di analisi proposto. L'utilizzo del lievito permette l'abbassamento dei costi, proprio per la sua facile ed economica produzione.

I lieviti utilizzati sono il MW278-20C e il CPK1, gentilmente forniti dal laboratorio del prof. C. Palleschi del Dipartimento di fisiologia dell'Università "La Sapienza" di Roma.

Il lievito è stato immobilizzato su una membrana porosa di nylon per filtrazione.

Le condizioni operative con il lievito ingegnerizzato sono rimaste le stesse impiegate con l'enzima purificato a parte i tempi per lo "sviluppo" dell'attività colinesterasica nella soluzione di substrato. Infatti il primo stadio di inibizione dell'attività colinesterasica del lievito ad opera del paraoxon richiede 30 minuti come per l'enzima purificato.

Nella figura 8 è riportato il grado di inibizione della AChE nel lievito ad opera di una soluzione di paraoxon 37 ppb espressa in concentrazione di Ch prodotta in funzione del tempo. Per il trattamento di incubazione nel substrato sono richiesti, invece, 30 minuti contro i circa 10 necessari nel caso dell'enzima purificato come risulta dalla figura 9 dove è confrontata la produzione di Ch nel tempo ad opera di lievito o enzima purificato.

Questa differenza potrebbe essere dovuta al tempo richiesto per la diffusione del substrato per raggiungere l'enzima all'interno della parete cellulare del lievito.

Applicando questa modifica, i due biosensori, quello con l'enzima purifica-

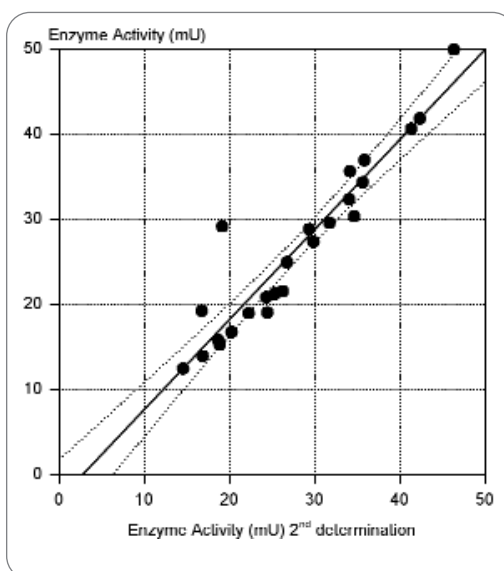


Figura 7
Attività colinesterasica di 24 membrane ottenuta con due operazioni di misura successive

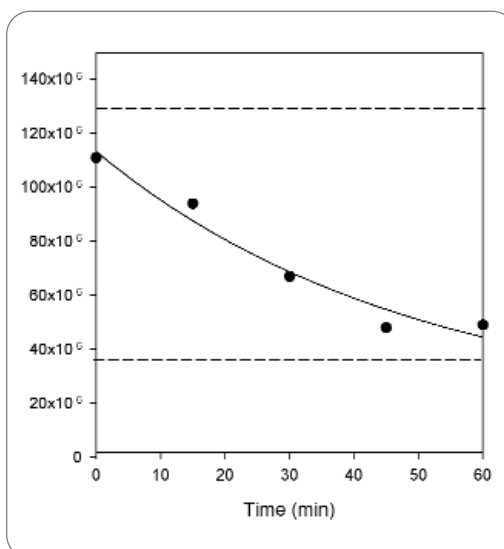


Figura 8
Inibizione della AChE nel lievito ad opera di una soluzione di paraoxon 37 ppb espressa come concentrazione di Ch prodotta in funzione del tempo di esposizione al pesticida

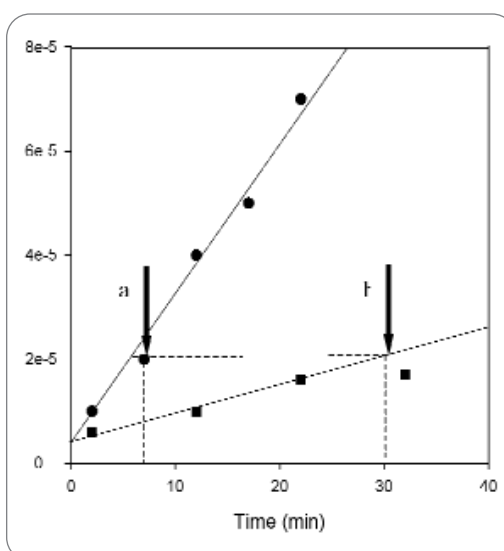


Figura 9
Produzione di Ch da parte di a) enzima purificato e b) lievito, entrambi immobilizzati su membrane di nylon. Per ottenere la medesima produzione di Ch ottenuta con l'enzima purificato in circa 10 minuti, il lievito richiede una incubazione di 30 minuti

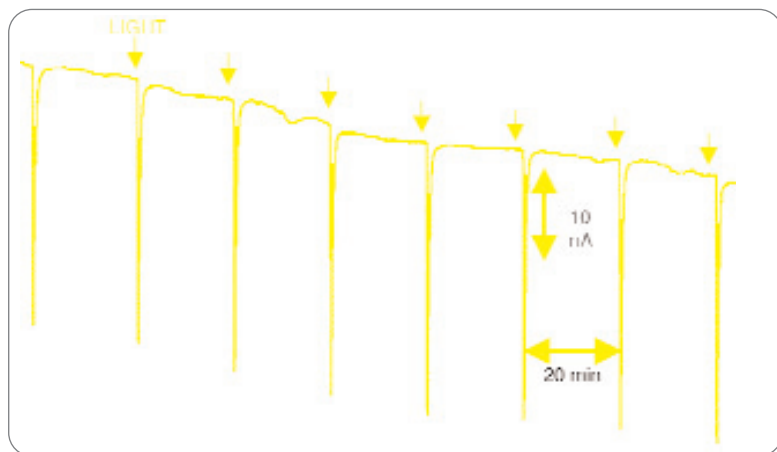


Figura 10

Esempio di tracciato ottenuto con un biosensore a PSII illuminato con un LED rosso ad alta intensità ogni 20 minuti per 20 secondi

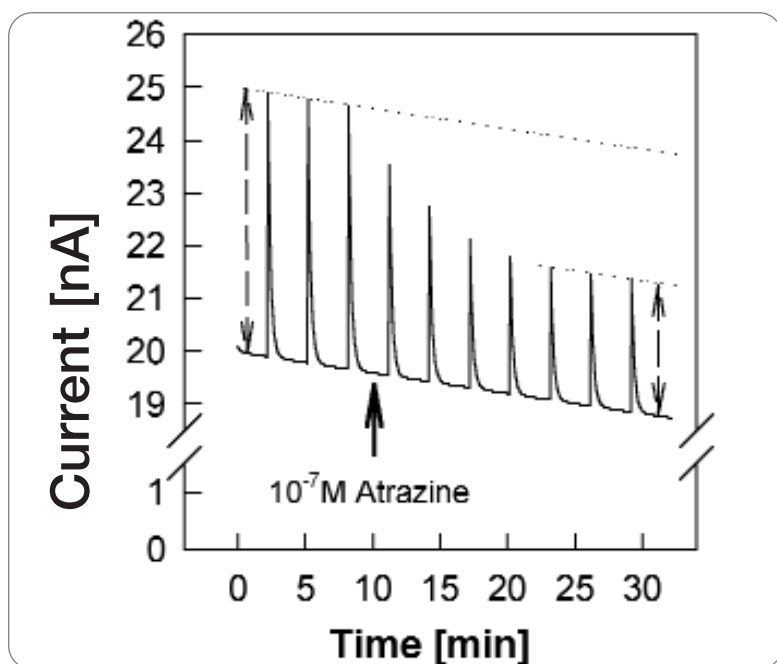


Figura 11

Inibizione del biosensore a PSII dovuta alla iniezione di atrazina $10^{-7}M$

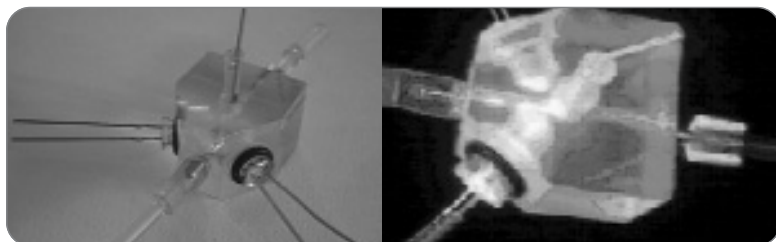


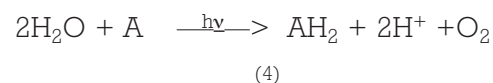
Figura 12

La cella a flusso miniaturizzata impiegata per eseguire le misure con il biosensore a PSII basato su elettrodi stampati. La cella è dotata di un'entrata e una uscita per le soluzioni, un alloggiamento per l'elettrodo stampato e 2 per i LED (blu e rosso) impiegati per ottenere la reazione di Hill. A sinistra la cella smontata, a destra la cella durante l'illuminazione con il LED rosso ad alta intensità

to e quello con il lievito ingegnerizzato, risultano molto simili nella determinazione dell'inibizione dovuta ai pesticidi.

Biosensori elettrochimici stampati per gli erbicidi fotosintetici⁴²⁻⁶⁴

Molte sostanze inibiscono la fotosintesi nelle piante e nei cianobatteri⁶⁰ e per questa loro proprietà sono state e sono tuttora utilizzate in agricoltura come erbicidi^{46,53,63}. L'importanza del PSII per scopi analitici è dovuta al fatto che molte sostanze inibiscono la fotosintesi bloccando proprio siti specifici nei cloroplasti, dunque la stessa reazione di inibizione può essere sfruttata per determinare l'eventuale presenza di erbicidi residui nelle acque. Sono inibitori della fotosintesi le triazine, le feniluree, gli uracili, i benzotiodiazoli, i nitrili, i carbammati e gli acidi carbossilici⁴⁸; in particolare, i derivati della triazina (es: atrazina) e dell'urea (es: diuron) si legano al sito Q_B ⁶² della subunità D1 del *PSII core complex* e impediscono l'accesso alla molecola di accettrice di elettroni (chinone), bloccando dunque la reazione di Hill di evoluzione di ossigeno⁴



Il PSII accoppiato ad un opportuno sistema di trasduzione può essere quindi utilizzato per la rivelazione della concentrazione residua di erbicida in campioni ambientali tramite una semplice misura di ossigeno^{42-45, 48}. Dalla reazione 3 si può osservare che è possibile misurare, oltre alla produzione di ossigeno molecolare, anche la produzione della forma ridotta dell'accettore, tipicamente un idrochinone⁵⁰.

Nella figura 10 è riportato un tipico tracciato ottenuto con un sensore di Clark per l'ossigeno accoppiato con PSII purificato dal cianobatterio termofilo *Sinococcus elongatus* immobilizzato sulla superficie dell'elettrodo di lavoro.

All'accensione di un LED rosso ad alta intensità per 20 secondi, si può notare la produzione di ossigeno dovuta alla reazione di Hill.

Analogamente, con un sensore stampato di grafite polarizzato a +620 mV vs Ag/AgCl, è possibile osservare un picco dovuto alla riossidazione del chinone. In presenza di erbicidi, la reazione di Hill risulta inibita per la competizione tra chinone (accettore) ed erbicidi e il picco risulta ridotto in misura proporzionale alla concentrazione di questi ultimi (figura 11).

Le misure sono state condotte in flusso in un sistema fluidico analogo a quello riportato in figura 17E. La cella a flusso utilizzata con gli elettrodi stampati è mostrata in figura 12.

Analogamente ai biosensori colinesterasici, è possibile calcolare l'attività residua percentuale a partire dall'intensità di corrente misurata prima e durante l'inibizione. In questo caso infatti l'inibizione è reversibile e scompare quando il sensore è alimentato con la soluzione tampone. Nella figura 13 sono riportate le curve di calibrazione per diversi erbicidi ottenute con il biosensore basato sull'elettrodo di Clark.

A differenza dell'elettrodo di Clark, gli elettrodi di grafite richiedono l'immobilizzazione del PSII mediante la reticolazione con BSA/GA e per questo motivo si ottengono selettività diverse da quelle appena mostrate nei confronti degli erbicidi (figura 14).

In figura 15 sono riportate le curve di calibrazione ottenute con atrazina e due diversi accettori di elettroni.

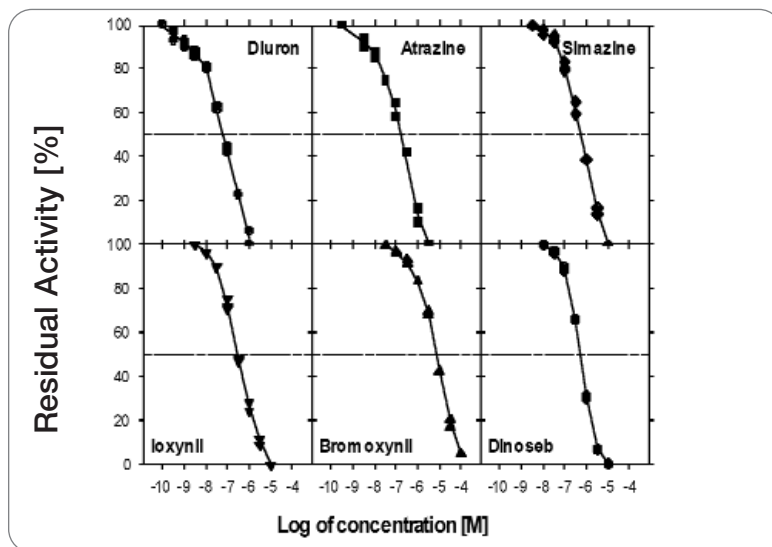


Figura 13

Curve di calibrazione per diversi erbicidi ottenute con un biosensore a PSII basato su elettrodo di Clark

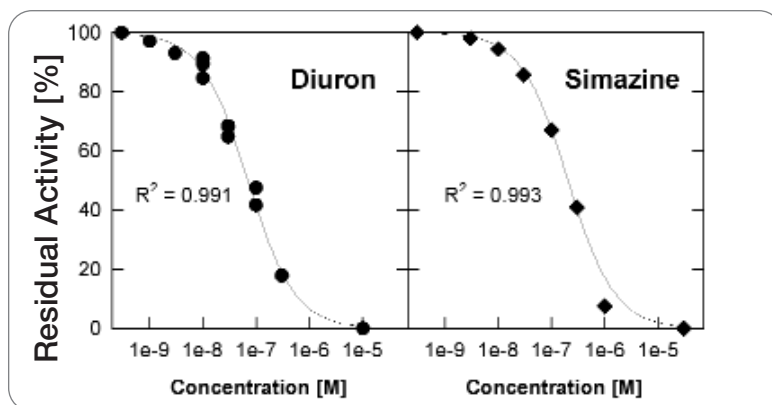


Figura 14

Curve di calibrazione per Diuron e Dinoseb ottenute attraverso la misura della forma ridotta dell'accettore di elettroni con un elettrodo a grafite accoppiato con il PSII immobilizzato mediante reticolazione con BSA/GA

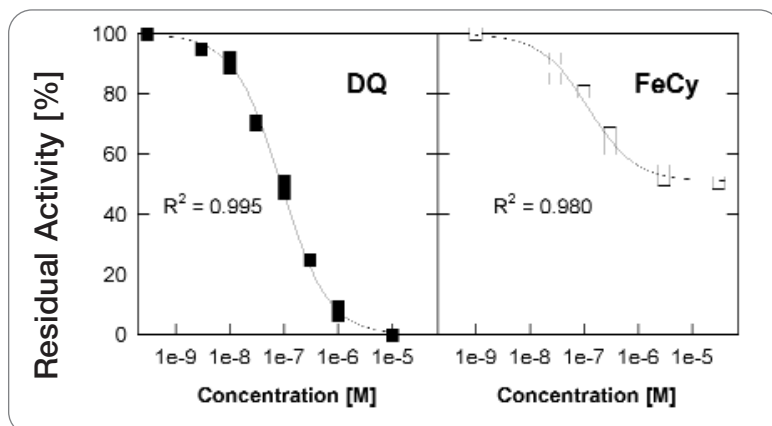


Figura 15

Attività residua (curva di calibrazione) vs concentrazione di atrazina impiegando diversi accettori di elettroni

La serigrafia per la produzione massiva di sensori a basso costo

Gli elettrodi serigrafati, basati sulla tecnologia SP [1], consentono al contempo l'impiego di metodi bionalitici sul campo e la riduzione dei costi dei sensori nella logica dell' "usa e getta". La tecnologia SP consente infatti la deposizione sequenziale di inchiostri contenenti materiali elettrodi (Pt, grafite, Ag) su un supporto planare, tipicamente di materiale plastico (PVC, metacrilato), realizzando la produzione di massa di elettrodi e sensori riproducibili e a basso costo. La peculiarità di questa tecnica nel depositare sequenzialmente strati spessi di diversi materiali funzionali (piste di conduzione, isolanti, materiali elettrodi di diversa natura, membrane selettive, film di biomolecole sensibili) consente di realizzare, con estrema semplicità e versatilità, diversi lay-out costruttivi a seconda dell'impiego analitico e della configurazione fluidica richiesta.

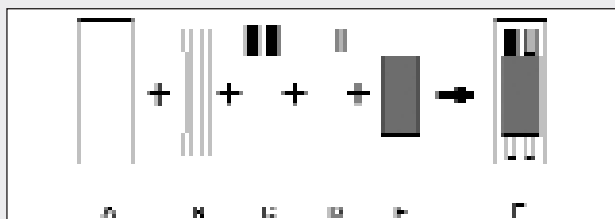
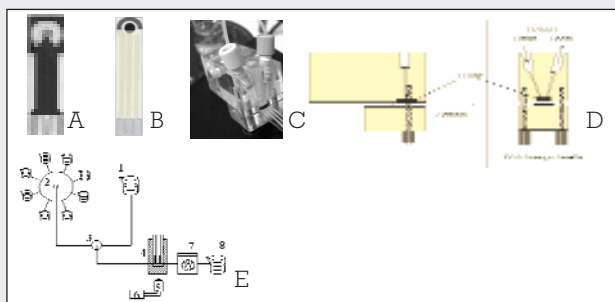


Figura 16. Sequenza di deposizione dei diversi strati spessi per la realizzazione di un trasduttore elettrochimico su un supporto plastico. A) supporto in PVC, B) piste di conduzione in argento, C) elettrodi di grafite, D) RE in Ag/AgCl, E) Isolante, F) elettrodo stampato risultante.

Parte determinante per la realizzazione dei biosensori è la tecnica di accoppiamento delle biomolecole e dei microorganismi con il trasduttore di segnale elettrodi. La tecnica d'immobilizzazione delle biomolecole sulla superficie elettrodi riveste, infatti, particolare importanza per diversi motivi riconducibili alla denaturazione enzimatica, al tempo di vita del biosensore risultante e alla diffusione di substrati e prodotti attraverso il film depositato per raggiungere la superficie sensibile del trasduttore. Ciascuna biomolecola o microorganismo ha richiesto soluzioni ad hoc per ottenere le migliori prestazioni in termini di sensibilità, riproducibilità, tempo di vita e stabilità.



La tecnologia dello strato spesso (TFT)¹⁸, comunemente adottata nel settore della microelettronica e per la creazione di circuiti integrati, ha aperto la strada verso la diffusione su vasta scala di biosensori monouso, portatili e a basso costo di produzione. Nella figura 17 sono stati riportati alcuni esempi di configurazioni elettrodi create grazie alla TFT presso i nostri laboratori ENEA. Essi sono normalmente stampati su lastre di PVC secondo un metodo che prevede la deposizione di una pasta che deve contenere il materiale conduttore. Per ottenere una precisa localizzazione dello schema stampato sul substrato e la deposizione a registro degli strati successivi è impiegata una stampante serigrafica, sulla quale è possibile regolare con dei micromanipolatori la posizione del supporto, parallelamente allo stampo. Un tipico schermo serigrafico è costituito da una rete a maglie finemente intessute di acciaio inossidabile, nylon o poliestere, montata in tensione su di una cornice metallica e sulla quale può essere impressa fotograficamente l'immagine di un circuito desiderata. Le paste utilizzate per la stampa di elementi sensibili sono composte da almeno due ingredienti: un veicolo organico ed un componente attivo o funzionale. Il "veicolo organico" è una miscela di solventi volatili e polimeri (resine) che sono necessari a mantenere le particelle di materiale attivo in una sospensione omogenea e con proprietà reologiche adatte alla stampa. Le stampe a strato spesso sono soggette spesso a cicli di essiccazione e di cottura (sinterizzazione per i substrati ceramici) durante i quali il veicolo organico viene rimosso ed avvengono una serie di reazioni chimiche e fisiche che genereranno le proprietà elettriche finali delle paste. Lo stadio di essiccazione è necessario per rimuovere i solventi organici volatili e per fare aderire al supporto lo strato spesso, che ancora contiene leganti organici; esso avviene a temperature piuttosto basse (70-150 °C) e non è dipendente dalle condizioni di riscaldamento purché la velocità del processo sia tale da non causare una eva-

Figura 17. A) elettrodo commerciale stampato su supporto ceramico; si osservano le piste di conduzione di argento, l'elettrodo di lavoro e ausiliario di oro, l'isolante blu; B) elettrodo stampato in laboratorio su supporto di PVC; si osservano le piste di conduzione di argento, l'elettrodo di lavoro in grafite, il contro elettrodo di Ag/AgCl e l'isolante trasparente, C) fotografia della cella flusso per elettrodi stampati, D) schema della cella, E) schema fluidico impiegato nelle misure con i biosensori: 1) soluzione tampone per l'acquisizione della linea di base, 2) soluzioni standard e campioni inviate per mezzo di una valvola automatica a 8 canali, 3) rubinetto a tre vie, 4) cella a flusso e biosensore stampato, 5) LED ad alta intensità (impiegato con i biosensori fotosintetici), 6) alimentatore e timer, 7) pompa peristaltica, 8) scarico delle soluzioni

porazione troppo violenta del solvente che possa danneggiare l'uniformità della stampa. Durante il processo di stampa l'inchiostro, o la pasta, viene stratificato sulla superficie posteriore dello schermo, sotto il quale viene posta la lastrina in PVC; una spatola flessibile o racla con un bordo inclinato, esercitando una pressione sulla superficie, porta lo schermo a contatto con il substrato.

Mentre la spatola passa, le maglie dello schermo si allargano e "dosano" la quantità di inchiostro, andando a formare il disegno voluto sul substrato. Solitamente si usano come paste conduttrici il Pt, l'Ag/Pd, il carbone drogato (con Rh o Pt) o della semplice grafite, che vanno sequenzialmente stampate prima o dopo una pasta di isolante.

Laddove necessario è possibile usare delle paste polimeriche con diversi gradi di conducibilità.

Spesso bisogna ricorrere ad opportuni trattamenti della superficie stampata, allo scopo di migliorare il responso elettrochimico, ed ottimizzare la riproducibilità dello stesso elettrodo finale. Nei nostri laboratori sono state adottate e testate quattro possibili soluzioni: il drogaggio delle paste conduttrici, il trattamento chimico degli elettrodi, il trattamento fisico, la ricopertura con membrane.

a) Doping: le paste di metalli conduttori, ad esempio platino o rodio, mescolate e adsorbite sulle particelle di grafite stesse, possono essere addizionate alla pasta comunemente usata per la stampa dell'elettrodo di lavoro (WE), allo scopo di migliorare le caratteristiche di conducibilità e conferire proprietà chimiche specifiche. È stato dimostrato che la sensibilità della risposta amperometrica di un WE all'acqua ossigenata (H_2O_2) aumenta proporzionalmente con l'aumento del contenuto di metallo nella pasta di grafite fino ad un massimo di 0,5%. L'inchiostro di car-

bonio può essere drogato anche con i cosiddetti mediatori elettrochimici, come ferrocene, blu di Prussia, o persino con determinati enzimi, modificando direttamente l'elettrodo prima della stampa per scopi biosensoristici.

b) I trattamenti elettrochimici risultano molto importanti per ridurre i tempi di stabilizzazione ed incrementare la sensibilità e la riproducibilità degli elettrodi. I trattamenti di pulizia superficiale dell'elettrodo rimuovono le impurezze, presenti nelle paste conduttrici, che si possono ossidare o ridurre ai potenziali di misura.

Durante le prime misure effettuate si è potuto constatare che gli elettrodi stampati impiegano tempi molto lunghi prima di raggiungere la stabilità della linea di fondo e sono stati perciò sperimentati diversi trattamenti di condizionamento della superficie elettrodica, dapprima con cicli di pulizia a potenziale costante, infine con voltammetrie cicliche tra $-1V$ e $+1V$ vs Ag/AgCl sia in soluzione tampone, sia in soluzioni a differenti pH.

c) Sono state effettuate varie prove di trattamento fisico, applicando differenti pressioni sugli elettrodi, per verificare quale fosse il valore ideale.

È verificato che gli elettrodi sottoposti ad una pressione di 100 kg/cm^2 presentano un incremento della conducibilità fino al 40%, mentre pressioni applicate 5-10 volte maggiori provocano la deformazione del supporto di PVC, senza accrescere in modo significativo la conducibilità, causando anzi occasionalmente il distacco dello strato di stampa dal supporto.

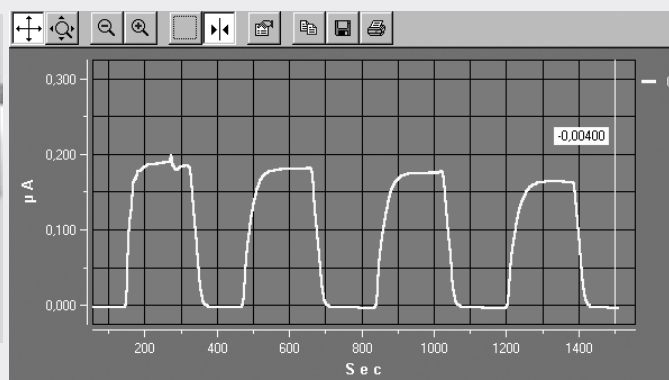
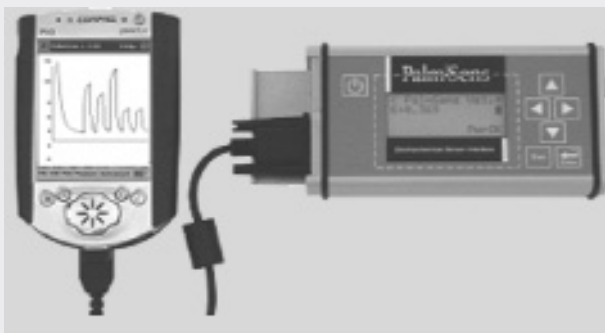
Queste osservazioni sono ancora più evidenti osservando la superficie degli elettrodi pressati e non, tramite una fotografia prodotta con microscopia elettronica a scansione, SEM (figura 18).



Figura 18. Fotografie SEM di superfici di elettrodi di grafite pressati (destra) e non (sinistra)

Apparecchiature da campo sviluppate dall'ENEA e apparecchiature commerciali

I biosensori sono stati inseriti in sistemi fluidici miniaturizzati, alimentati da pompe a pistone commerciali a basso costo del tipo utilizzato per la somministrazione continua giornaliera di farmaci in pazienti non ospedalizzati. La strumentazione elettronica portatile di controllo, realizzata in collaborazione con l'Università di Roma Tor Vergata, è alimentata con accumulatori a LiH, ha 4 canali di acquisizione, display a cristalli liquidi, pulsantiera di comando, memoria per l'archiviazione dei dati durante la misura in campo, interfaccia seriale e software di acquisizione per scaricare i dati dopo o durante le analisi su un computer portatile. Un altro sistema palmare con display grafico consente di operare con numerose tecniche elettroanalitiche (cronoamperometria, voltammetria ciclica, amperometria pulsata e differenziale, coulombometria) e di visualizzare i risultati delle analisi direttamente sul display grafico di un Pocket PC palmare. I metodi sviluppati con questi dispositivi basati sui biosensori non sono applicabili alle sole analisi in campo su matrici ambientali ma anche al controllo e alla caratterizzazione igienico-sanitaria e nutrizionale su matrici agroindustriali come il vino, il latte, la frutta (uva).



Conclusioni

Abbiamo visto che l'accoppiamento e la combinazione fra sistemi biomolecolari complessi, quali microorganismi e lieviti ricombinanti, e la tecnologia serigrafica degli elettrodi stampati conferisce a questo tipo di biosensori delle caratteristiche uniche e molto vantaggiose. Sfruttando l'estrema specificità, e la possibilità di ridurre i costi sul mercato dei primi, insieme alla facilità di produzione ed alla ben nota

economicità dei secondi, è possibile dotarsi di biosensori estremamente versatili, per analisi ambientali. È persino possibile a seconda delle esigenze disporre di sistemi monouso o riutilizzabili per più di 200 analisi consecutive con una buona riproducibilità. Gli esempi applicativi che abbiamo portato in relazione a microorganismi ricombinanti, sfruttano il meccanismo di inibizione di particolari enzimi da parte di erbicidi e pesticidi specifici, la cui presenza può

dunque essere monitorata in differenti matrici, grazie a questi sistemi.

Nel primo caso è stato sviluppato un protocollo per la misura dell'attività dell'acetil colinesterasi sui chicchi di uva che si applica bene all'intervallo di concentrazioni limite fissati dalle leggi; il lievito ingegnerizzato permette inoltre di ridurre i costi della preparazione e di immobilizzazione dell'enzima senza perdere in prestazioni. Sono stati raggiunti limiti di rivelabilità di $0,1 \text{ ng ml}^{-1}$ (per paraoxon) e rapidi tempi per effettuare analisi contemporanee anche su 24 campioni.

Nella seconda parte è stato mostrato un biosensore SPE basato sul fotosistema PSII per l'identificazione e la quantificazione di composti erbicidi triazinici. Sono stati raggiunti limiti di rivelabilità $10^{-10} \text{ mol dm}^{-3}$ (per diuron).

Questi ultimi risultati incoraggiano ad estendere le procedure sperimentali anche su altre librerie biologiche, che possono essere scelte a seconda dell'applicazione specifica. In conseguenza ad una corretta orientazione nelle immobilizzazioni, tali risultati incoraggiano anche alla diffusione di nuovi biosensori per analisi di varie matrici ambientali *in situ* che siano allo stesso tempo affidabili, sensibili, pratici e facili da usare.

Bibliografia

- PRUDENZIATI M. (Ed.), *Thick Film Sensors*, Elsevier Location Amsterdam, Netherlands, 1994.
- HANDIQUE J.G., BARUAH, J.B.; *Reactive & Functional Polymers*, 2002, 52 163-188.
- D'SOUZA S.F., *Biosens. Bioelectron.*, 2001, 16 337-353.
- SCHMIDT A., STANDFUB-GABISCH, C., BILTEWSKI, U., *Biosens. Bioelectron.*, 1996, 11 1139-1145.
- HEIM S., SCHNIEDER I., BINZ, D., VOGEL A., BILTEWSKI U., *Biosens. Bioelectron.*, 1999, 14 187-193.
- ALBAREDA-SIRVEN, M., MERKOÇI A., ALEGRET, S., *Sensors and Actuators B*, 2000, 69 153-163.
- CUMMINGS E.A., LINQUETTE-MAILLEY S., MAILLEY P., COSNIER S., EGGINS B.R., McADAMS E.T., *Talanta*, 2001, 55 1015-1027.
- MÖRSEN A., REHM, H.J., *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 1987, 26 206-212.
- KOHLER H.P., VAN DER MAAREL M.J., KOHLER-STAU D., *Appl. Envir. Microbiol.*, 1993, 59 860-866.
- PAZARLIOGLU, N.K., TELEFONCU, A., I. J. *Faculty of Science, Ege University*, 1998, 21 89-95.
- LIVINGSTON, A.G., *Biotechnol. Bioeng.*, 1993, 41 915-926.
- CIUCU, A., MAGERAU, V., FLESCHEIN, S., LUCACIU, DAVID, F., *Anal.Lett.*, 1991, 24 567-580.
- BACHMANN, T.T., BILTEWSKI, U., SCHMID, R.D., *Anal.Lett.*, 1998, 31 2361-2373.
- CAMPANELLA L., FAVERO G., OCCHIONERO F., TOMASSETTI M.; (1998) *Analisis* 26, 223-228
- CAMPANELLA L., FAVERO G., TOMASSETTI M.; (1997), *Sensors & Actuators B*, 44, 559-565
- CAMPANELLA L., FAVERO G., TOMASSETTI M.; (1999), *Analytical Letters*, 32(13), 2559-2581
- ALEXANDER M., (1994) *Biodegradation and Bioremediation*. Academic Press, San Diego, California, USA.
- BAZYLEWICZ-WALCZAK B., MAJCAKOWA W. AND SZYMCAK M.; *Neurotoxicology*, 1999, 20 (5), 819-826.
- LU C.S., KNUTSON D.E., FISKE-ANDERSEN J. AND FENSKE R.A.; *Environ. Health Persp.*, 2001, 109 (3), 299-303.
- RUCKART P.Z., KAKOLEWSKI K., BOVE F.J. AND KAYE W.E.; *Environ. Health Persp.*, 2004, 112 (1), 46-51.
- GARTRELL M.J., CRAUN J.C., PODREBRAC D.S. AND GUNDERSON E.L.; *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 1986, 69 (1),
- CARVALHO F.P., VILLENEUVE J.P., CATTINI C., TOLOSA I., MONTENEGRO-GUILLEN S., LACAJO M. AND CRUZ A.; *J. Environ. Monit.*, 2002, 4 (5), 778-787.
- PACAKOVA V., STULIK K., JISKRA J.; *J. Chromatogr.*, 1996, 754, 17-35.
- KOAL T., ASPERGER A., EFER J. AND ENGEWALD W.; *Chromatographia*, 2003, 57 S, 93-101.
- GFRERER M., WENZL T. AND LANKMAYR E.; *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 2003, 83 (2), 111-125.
- SCHNEIDER P., HAMMOCK B.D.; *J. Agricultural Food Chem.* 1992, 40, 525-530.
- PALCHETTI I., CAGNINI A., DEL CARLO M., COPPI C., MASCINI M., TURNER A.P.F.; *Anal. Chim. Acta*, 1997, 337 (3), 315-321.
- BERNABEI, M., CREMISINI C., MASCINI M., PALLESCHI G.; *Analytical Letters*, 1991, 24 (3), 1317- 1331.
- CREMISINI C., DI SARIO S., MELA J., PILLON R., PALLESCHI G.; *Anal. Chim. Acta*, 1995, 311, 273-280.
- SKLADAL P., PAVLIK M. AND FIALA M.; 1994, 27, 29-40.
- NUNES G.S., SKLADAL P., YAMANAKA H. AND BARCELO D.; *Anal. Chim. Acta*, 1998, 362, 59-68.
- SKLADAL P.; *Food Technol. Biotechnol.*, 1996, 34, 43.
- HART A.L., COLLIER W.A. AND JANSSEN D.; *Biosensors & Bioelectronics*, 1997, 12(7), 645-654.
- WHITE B.J., LEGAKO J. A. AND HARMON H.J.; *Sensors and Actuators B*, 2003, (89),107-111.

35. BERNABEI M., CREMISINI C., PALLESCHI G., CHIAVARINI S.; *Biosensors and Bioelectronics*, 1993, 8, 265-271.
36. DAVIS I.J. AND MALANEY G.W.; *Water Sewage Works*, 1967, 114, 272-285.
37. GREVE P.A., FREUDENTHAL J. AND WIT S.L.; *Sci. Total Environ.*, 1972, 1, 253-259.
38. MELNIKOV N.N., GUNTHER F.A. AND GUNTHER J.D.; XXVI Organophosphorous compounds, in: *Residue Reviews*, 1971, 36, 303-386.
39. ORDENTLICH A., BARAK C., KRONMAN C., ARIEL N., SEGALL Y., VELAN B. AND SHAFFERMAN A.; *J. Biol. Chem.*, 1996, 271, 11953-11962.
40. UCCELLETTI D., DE JACO A., FARINA F., MANCINI P., AUGUSTI-TOCCO G., BIAGIONI S., PALLESCHI C.; *Biochim. and Bioph. Res. Comm.*, 2002, 298, 559-565.
41. UCCELLETTI D., FARINA F., MORLUPU A., PALLESCHI C.; *Res. Microbiol.*, 1999, 150, 5-12.
42. BREWSTER JD, LIGHTFIELD AR. 1993. *Anal Chem* 65:2415-2419.
43. BREWSTER JD, LIGHTFIELD AR AND BERMEL PL. 1995. *Anal Chem* 67: 1296-1299.
44. BUSHWAY RJ, PERKINS LB, FUKAL L, HARRISON RO, FERGUSON BS. 1991. *Czechoslovakia. Arch Environ Contam Toxicol* 21:365-370.
45. CONRAD R, BUCHEL C, WILHELM C, ARSALANE W, BERKALOFF C, DUVAL JC. 1993. *J Appl Phycol* 5:505-516.
46. DRABER W, TIETJEN K, KLUTH JF, TREBST A. 1991. *Angew Chem* 3:1621-1633.
47. GIERSCH T. 1993. *J Agric Food Chem* 41:1006-1011.
48. GOOD NE. 1961. *Plant Physiol* 36:788-803.
49. KOBLIZEK M, MASOJIDEK J, KOMENDA J, KUZERA T, PILLOTON R, MATTOO AK, GIARDI MT. 1998. *Biotechnol. Bioeng* 60:664-669.
50. KOBLIZEK M, Maly J., MASOJIDEK J., KOMENDA J., KUCERA T., GIARDI M.T., MATTOO A.K. AND PILLOTON R.; *Biotech. Bioeng.*, 2002, 78 (1) , 110-116.
51. KÜPPER H, KÜPPER F AND SPILLER M. 1996. *J Exp Botany* 47:259-266.
52. LORANGER C, CARPENTIER R., 1994. *Biotechnol Bioeng* 44:178-183.
53. MERZ D, GEYER M, MOSS DA, ACHE H-J, 1996. *Fresenius J Anal Chem* 354:299-305.
54. MORELAND DE, 1992. *Z Naturforsch* 48c:121-131.
55. ROUILLON R, SOLE M, CARPENTIER R, MARTY JL. 1995. *Sensors and Actuators B* 26-27: 477-479.
56. SCHNEIDER P, GOODROW MH, GEE SJ, HAMMOCK BD. 1994. *J Agric Food Chem* 42:413-422.
57. SCHNEIDER P, HAMMOCK BD. 1992. *J Agric Food Chem* 40:525-530.
58. SETLÍKOVÁ E, SOFROVÁ D, PRÁŠIL O, BUDÁS P, KOBLÍZEK M AND SETLÍK I. 1999. *Photosynthetica* 37:183-200.
59. SOBOLEV V, EDELMAN M. 1995. *Proteins* 21:214-225.
60. SYNKOVÁ H, SESTÁK Z. 1991. *Photosynthetica* 25:1-10.
61. THOMASSET B, THOMAS D, LORTIE R. 1988. *Biotechnol Bioeng* 32:764-770.
62. TREBST A. 1986. *Z Naturforsch* 42c:742-750
63. WESSELS JSC, VAN DER VEEN R. 1956. *Biochim Biophys Acta* 19:548-549.
64. YAMAOKA T, SATOH K, KATOH S. 1978. *Plant Cell Physiol* 19:943-954.
65. MEIER P.C, ZUND R.E, (1993), *Statistical Methods in Chemical Analysis*, John Wiley & sons.



Messaggio di **Giovanni Paolo II** al Vescovo di Rimini Monsignor Mariano De Nicolò, in occasione della **XXV edizione del “Meeting per l’amicizia tra i popoli”**

scienza, tecnica,
storia & societ

Il progresso delle conoscenze scientifiche e dei mezzi tecnici a disposizione dell’uomo spinge di fatto sempre più in là il confine fra ciò che è possibile fare e ciò che ancora non è possibile. Basti, come esempio tra gli altri, il tentativo dell’uomo di appropriarsi delle fonti della vita attraverso gli esperimenti di clonazione umana. In tale ottica, il progresso diverrebbe un valore assoluto, anzi la fonte stessa di ogni valore. Per il cristiano, il mistero dell’essere è talmente profondo che risulta inesauribile all’indagine umana. L’uomo invece che, nella presunzione di Prometeo, si erge ad arbitro del bene e del male, fa del progresso il suo ideale assoluto e ne rimane poi schiacciato

Message from **Pope John Paul II** to the
Bishop of Rimini, Mgr. Mariano De Nicolò,
on the occasion of the **25th Meeting for
Friendship Among Peoples**

The progress of scientific knowledge and of the technical means available to humans pushes farther and farther out the boundary between what is possible and what is not yet possible to do. One example is the attempt to appropriate the sources of life through experiments in human cloning. In this perspective, progress is taken to be an absolute value, or indeed the source of every value. For Christians, the mystery of Being is so deep that it cannot be plumbed by human investigation. Men who, as presumptuous as Prometheus, take themselves for arbiters of good and evil, and make progress their absolute idea, are bound to be crushed by it

1. Sono lieto di inviare a Lei, ai promotori e a quanti intervengono al *Meeting per l'amicizia tra i popoli* il mio beneaugurante pensiero.

Questo tradizionale appuntamento, che anima e arricchisce di contenuti l'estate italiana, giunge quest'anno alla sua venticinquesima edizione. È un traguardo significativo che si colloca nel contesto delle celebrazioni per il cinquantesimo anniversario della nascita di *Comunione e Liberazione*, movimento ecclesiale scaturito dallo zelo sacerdotale di Mons. Luigi Giussani. Due ricorrenze importanti, che si illuminano a vicenda.

Il tema scelto per il *Meeting* offre stimolanti motivi di riflessione sulle questioni più spinose che si pongono drammaticamente all'uomo di oggi. Molta luce può infatti gettare su di esse la consapevolezza che «il nostro progresso non consiste nel presumere di essere arrivati, ma nel tendere continuamente alla meta».

2. In realtà, è ben noto quel «senso di potenza che l'odierno progresso tecnico ispira all'uomo» (*Gaudium et spes*, n. 20). Particolarmente forte è, quindi, la tentazione di pensare che l'opera dell'uomo trovi in se stessa la giustificazione dei propri obiettivi. I risultati raggiunti nei vari ambiti della scienza e della tecnica vengono da molti considerati e difesi come *a priori* accettabili. Si finisce così per pretendere che ciò che è tecnicamente possibile sia di per sé anche eticamente buono.

Secondo questa opinione, proprio perché il progresso delle conoscenze scientifiche e dei mezzi tecnici a disposizione dell'uomo spinge di fatto sempre più in là il confine tra ciò che è possibile «fare» e ciò che ancora non lo è, tale progresso finirebbe per spostare indefinitamente in avanti anche il confine tra il giusto e l'ingiusto. In tale ottica, il progresso diverrebbe allora un valore assoluto, anzi la fonte stessa di ogni valore.

La verità e la giustizia non sarebbero più istanze superiori, criteri di giudizio ai quali l'uomo si deve attenere nell'orientare le azioni che alimentano il progresso stesso, ma diventerebbero un prodotto della sua attività di ricerca e di manipolazione della realtà.

Non c'è chi non veda le conseguenze drammatiche e desolanti di tale pragmatismo, che concepisce la verità e la giustizia come qualcosa di

modellabile ad opera dell'uomo stesso. Basti, come esempio tra gli altri, il tentativo dell'uomo di appropriarsi delle fonti della vita attraverso gli esperimenti di clonazione umana. Qui tocchiamo con mano la presunzione di cui parla proprio il titolo del *Meeting*: la violenza con cui l'uomo tenta di appropriarsi del vero e del giusto, riducendoli a valori di cui egli può disporre liberamente, cioè senza riconoscere limiti di sorta, se non quelli fissati e continuamente superati dell'operabilità tecnica.

3. La via insegnata da Cristo è un'altra: è quella del rispetto per l'essere umano, che ogni mezzo di ricerca deve anzitutto mirare a conoscere nella sua verità, per poi servirlo, non manipolandolo secondo un progetto considerato talora con arroganza come migliore di quello del Creatore stesso.

Per il cristiano, il mistero dell'essere è talmente profondo che risulta inesauribile all'indagine umana. L'uomo invece che, nella presunzione di Prometeo, si erge ad arbitro del bene e del male, fa del progresso il suo ideale assoluto e ne rimane poi schiacciato. Il secolo appena trascorso, attraverso le ideologie che ne hanno tristemente marcato la tragica storia e le guerre, che lo hanno profondamente solcato, sta davanti agli occhi di tutti a mostrare quale sia l'esito di tale presunzione. Il tema del *Meeting* di Rimini invita a volgere al Creatore uno sguardo stupito per la bellezza e la razionalità di ciò che Egli ha posto e mantiene nell'essere. Solo questa umiltà di fronte alla grandezza e alla misteriosità del creato può salvare l'uomo dalle conseguenze nefaste della propria arroganza. Auspicio di cuore che il *Meeting* contribuisca a favorire questo atteggiamento di umiltà di fronte ai tesori che il Creatore ha disseminato nell'universo come riflessi della sua sapienza, così che il credente possa trarre dalla loro contemplazione motivi sempre nuovi di luce e di conforto nel quotidiano confronto con gli interrogativi emergenti dalla vita.

A questo fine assicuro un orante ricordo e invio a tutti una speciale Benedizione.

Da Castel Gandolfo, 6 agosto 2004.

* Il testo del messaggio è stato pubblicato su *L'OSSERVATORE ROMANO*, Lunedì-Martedì 23-24 Agosto 2004, Anno CXLIV - n. 194, pag. 4.
(A cura di Fausto Borrelli)

Biomonitoraggio di metalli pesanti in ambiente urbano attraverso piante erbacee ruderali

LORIS PIETRELLI¹

STEFANO CIFERRI², PATRIZIA MENEGONI²
TIZIANA FARNETI², FRANCESCO MODESTIA²,
ANTONIO SALUZZO²

¹ENEA, UTS Protezione e sviluppo dell'Ambiente e del Territorio,
Tecnologie Ambientali

² Environmental Project, Roma

L'inquinamento atmosferico rappresenta oggi uno dei principali problemi ambientali, infatti è ormai accertato che i suoi effetti sul suolo, sulle piante e sugli animali possono influenzare non solo la struttura ma addirittura la funzione di un intero ecosistema, inclusa la sua capacità di autoregolazione¹.

Tra gli inquinanti atmosferici, è da registrare, soprattutto in ambiente urbano, la presenza di alcuni metalli pesanti quali Pb e Cd, rilasciati prevalentemente dai veicoli a motore soprattutto prima del divieto applicato all'uso dei carburanti per autotrazione additivati con piombo tetraetile². Questi metalli, in genere trasportati nel particolato aereo, risultano estremamente pericolosi e tossici per l'uomo anche a basse concentrazioni.

Per questo motivo diventa prioritario monitorarne la loro dif-

fusione e le piante sono da tempo riconosciute come un mezzo semplice, efficace e poco costoso di monitoraggio ambientale³.

Ad oggi le esperienze applicative di biomonitoraggio sono molto numerose^{4,5,6} e costituiscono una valida alternativa alle tradizionali procedure chimico-fisiche di rilevamento dei contaminanti. Il monitoraggio mediante bioaccumulatori offre infatti garanzie di buona affidabilità fornendo indicazioni precise sugli effetti biologici di una determinata situazione di inquinamento. Tuttavia la validità della procedura resta comunque affidata alla sensibilità delle singole specie utilizzate nei confronti degli inquinanti⁷.

Scopo di questo studio è stato quello di testare la capacità di alcune erbacee spontanee ad accumulare le deposizioni atmosferiche di due importanti

metalli pesanti, il piombo e il cadmio, largamente presenti in aree urbane

Metodologie di monitoraggio

La scelta delle specie testate in questo lavoro è stata effettuata attraverso la seguente procedura:

- inizialmente applicando i criteri di Wittig⁸ si è individuato un primo set di erbacee;
- in seguito, considerando che la capacità di bioaccumulo delle piante è strettamente legata alla loro tendenza ad intercettare l'aerosol atmosferico, si è operata un'ulteriore selezione con la quale sono state estrapolate dal contingente iniziale 7 specie ognuna con caratteristiche morfologiche diverse: *Hypericum perforatum* L., *Dactylis glomerata* L., *Plantago lanceolata* L., *Verbascum thapsus* L., *Picris hieracioides* L., *Cichorium intybus* L., *Daucus carota* L.

I campioni analizzati sono stati raccolti nel periodo giugno-luglio 1999 a Roma a pochi metri dalla Circonvallazione Gianicolense (strada ad intenso traffico veicolare) e sul Monte Angiano, all'interno della Riserva Naturale Monterano (a circa 60 km a Nord-Ovest di Roma) in prossimità della SP n. 22 per Tolfa, (strada a bassa intensità veicolare). Come termine di confronto per valutare la capacità di bioaccumulo delle singole piante nelle stazioni di campionamento è stata utilizzata "la pianta ideale di riferimento" (General Reference Plant)⁹.

I campioni prelevati sono stati lavati con acqua distillata per eliminare le deposizioni superficiali, successivamente essiccati in forno ad 80°C per 24 ore e triturati finemente con un

mortaio di agata. La dissoluzione è stata effettuata in un mineralizzatore a microonde (CEM-MDS 2100) con un ciclo unico di 15 minuti ad 80 psi utilizzando HNO_3 *suprapure* della MERCK. Le analisi dei metalli pesanti sono state effettuate con un Perkin Elmer Sciex Elan® 6000 ICP-MS (Thornhill-Ontario, Canada) equipaggiato con nebulizzatore cross flow. Lo strumento è stato quotidianamente controllato utilizzando soluzioni con 10 $\mu\text{g/L}$ di ^{24}Mg , ^{103}Rh e ^{208}Pb in 1 % v/v HNO_3 .

Risultati e discussione

La concentrazione di Cd e Pb rinvenuta nelle specie erbacee testate in questo lavoro mostra un andamento crescente in rapporto all'intensità del traffico veicolare (tabella 1). In particolare la lettura dei dati ottenuti evidenzia come a intense deposizioni di metallo gran parte delle specie esaminate risponda con un maggiore accumulo nei propri tessuti e nelle radici a conferma della validità del metodo adottato. In tutte le specie prelevate a Roma, infatti, la concentrazione di Pb e Cd risulta di gran lunga superiore rispetto ai campioni prelevati sul Monte Angiano e soprattutto rispetto alla pianta ideale di riferimento. Tuttavia anche presso la provinciale per Tolfa, la presenza nei tessuti delle erbacee di metallo appare rilevante, dimostrando una buona sensibilità di tutto il contingente esaminato anche ad esposizioni ridotte.

La concentrazione di Pb presente nelle erbacee analizzate segue un andamento caratteristico ed in linea con le previsioni soprattutto in considerazione del fatto che nel 1999 non era stato ancora vietato l'uso di benzine additivate con Pb tetraetile. In particolare *Hy-*

Tabella 1 Concentrazione totale sul secco (ppm) di Pb e Cd accumulata nelle diverse specie a Roma e alla R.N. Monterano

| | Pb totale (ppm) | | Cd totale (Pm) | |
|-----------------------------|-----------------|-------------|----------------|-------------|
| | Roma | R.N.Monter. | Roma | R.N.Monter. |
| <i>Hypericum perforatum</i> | 286,9 | 6,54 | 2,03 | 0,09 |
| <i>Dactylis glomerata</i> | 31,1 | 1,69 | 2,18 | 1,60 |
| <i>Plantago lanceolata</i> | 15,4 | 1,92 | 4,86 | 0,07 |
| <i>Verbascum thapsus</i> | 26,35 | 2,75 | 0,27 | 0,15 |
| <i>Picris hieracioides</i> | 18,7 | 2,14 | 1,07 | 1,81 |
| <i>Cichorium intybus</i> | 11,5 | 0,82 | 2,60 | 4,56 |
| <i>Daucus carota</i> | 12,9 | 1,62 | 1,67 | 0,32 |

pericum perforatum ha mostrato di essere un buon bioaccumulatore di Pb (figura 1) con una concentrazione del metallo in area urbana quasi 300 volte superiore di quella presente nella "pianta ideale di riferimento". Senza dubbio la morfologia della pianta gioca in questo aspetto un ruolo fondamentale¹⁰; ad esempio la presenza di caratteristiche ghiandole traslucide sulle foglie potrebbe essere responsabile di una maggiore permeabilità alle deposizioni atmosferiche. Anche la concentrazione di Cd presente nelle erbacee testate segue mediamente un andamento crescente in relazione al grado di antropizzazione. Solo in *Cichorium intybus* la quantità del metallo mostra un andamento opposto, con livelli decisamente

maggiore nei campioni prelevati sul Monte Angiano (figura 2). Questo comportamento anomalo, però, è probabilmente attribuibile al fatto che la specie è un ottimo bioaccumulatore di Cd come già riportato¹¹ e che per questo motivo tende ad assorbire il metallo in modo intenso laddove i substrati pedologici, come ad esempio i suoli argillo-marnosi della Riserva di Monterano, lo contengano in concentrazioni significative¹². Infine considerando che la concentrazione di Cd in piante contaminate oscilla tra 0,03-3,8 ppm anche *Plantago lanceolata* presenta una buona affinità per il metallo.

Per quanto riguarda invece le differenze di assorbimento nell'ambito della stessa specie vegetale è possibile avanzare una

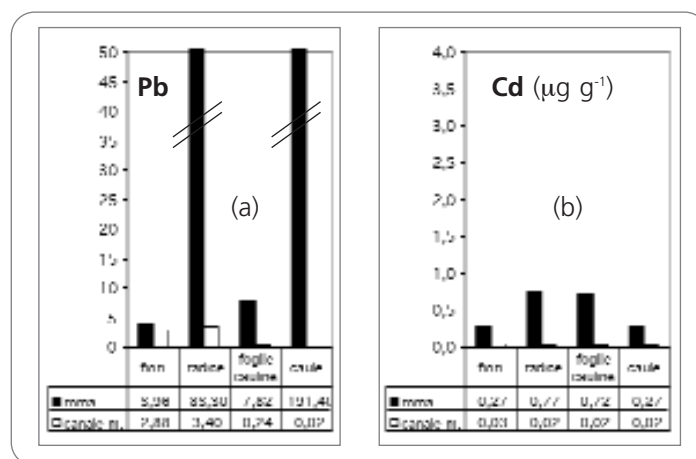


Figura 1 Concentrazione sul secco di Pb e Cd a Roma e nella R.N. Monterano in *Hypericum perforatum*

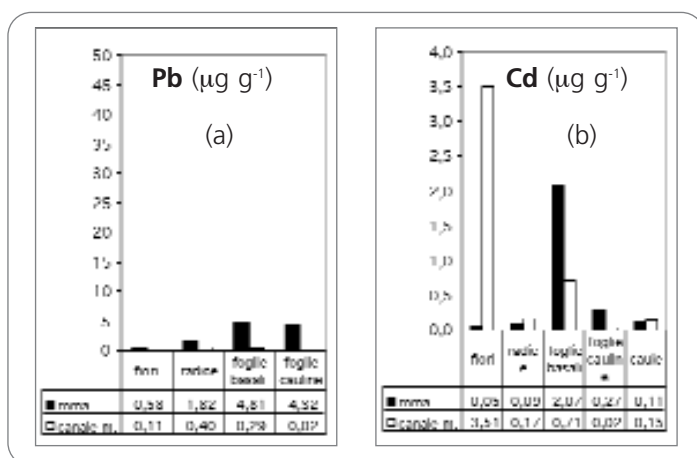


Figura 2
Concentrazione sul secco di Pb e Cd a Roma e nella R.N. Monterano in *Cichorium intybus*

ulteriore considerazione relativa alla struttura morfologica. In generale fra le erbacee analizzate, quelle con un apparato aereo sviluppato quali, *Hypericum perforatum*, *Verbascum thapsus*, *Picris hieracioides*, *Daucus carota*, sia a Roma che sul Monte Angiano, mostrano un rapporto medio tra concentrazione di Pb e Cd nella porzione aerea e nelle radici di 3 a 1. Diversamente *Dactylis glomerata* e *Plantago lanceolata* (con apparato aereo poco sviluppato) presentano il rapporto tra assorbimento medio dei metalli nella porzione aerea e nelle radici praticamente opposto: 1 a 2.

Ciò dimostra come la struttura morfologia influenzi la capacità delle erbacee ad accumulare i metalli pesanti.

Conclusioni

L'indagine ha permesso di colaudare un set di erbacee spontanee nell'ambito di programmi di monitoraggio della qualità dell'aria.

Complessivamente tutte le specie testate sono risultate degli ottimi indicatori ed in particolare *Hypericum perforatum* per l'assorbimento di Pb e Cd, *Cichorium intybus* e

Plantago lanceolata per l'assorbimento di Cd.

La selettività dell'assorbimento riscontrata nelle diverse parti costituenti la pianta farebbe pensare a meccanismi di accumulo diversificati (attività stomatica, permeabilità dei tessuti vegetali^{13,14}).

Pertanto nella scelta delle specie da utilizzare come bioindicatori andranno fatte valutazioni anche di tipo morfologico ed ecofisiologico in modo da ottenere strumenti sempre più efficaci in risposta alla necessità di controllo e verifica della sostenibilità ambientale.

Bibliografia

1. AA. VV., *Biomonitoraggio della qualità dell'aria sul territorio italiano*, ANPA, Serie Atti 2 (1999).
2. M. FERRETTI, E. CENNI, P. BATTISTONI, F. BUSSOTTI, *Vehicle induced lead and cadmium contamination of roadside soils and plants in Italy*. Chemistry and Ecology, 11: 213-228 (1995).
3. W. WANG, J.W. GORSUCH, J.S. HUGHES, *Plants for Environmental Studies*, Lewis Publishers (New York), 12, 336-337 (1997).
4. B. MARKERT, *Plants as Biomonitoring. Indicator for Heavy Metal in the terrestrial*
5. A. AKSOY, W.H.G. HALE, J.M. DIXON, *Capsella bursa-pastoris (L.) Medic. As biomonitors of heavy metals*, The Science of the total Environment 226, 177-186 (1999).
6. M. FERRETTI, G. GAVILLI, P. GRASSONI, G. LORENZINI, M. PELLEGRINI, *Biomonitoraggio di ozono, metalli in traccia, zolfo e cloro a Firenze nel 1996*. Provincia di Firenze, Settore Ambiente (1998).
7. L. STEUBINGM, H.J. JAGER, *Monitoring of air pollutants by plants - methods and problems*, International Workshop, Osnabrück 24-25. Dr. W. Junk Publishers, The Hague, The Netherlands (1982).
8. R. WITTIG, *General aspects of biomonitoring heavy metals by plants*. In Market B, editor. Plants as Biomonitors. Indicator for Heavy Metal in the terrestrial environment, VCH, Weinheim, 3-28 (1993).
9. B. MARKERT, *Establishing of "Reference Plant" for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting*, Water, Air and Soil Pollution, 64: 533-538 (1992).
10. HL. MOTTO, RP. DANIES, CH. MOTTO, *Lead in soils and plants: its relationship to traffic volume and proximity to highways*, Environ. Pollut., 45: 37-45 (1977).
11. L. SIMON, H.W. MARTIN, D.C. ADRIANO, *Chicory (Cichorium intybus L.) and dandelion (Taraxacum officinale Web.) as phytoindicators of cadmium contamination*: 351-362 (1996).
12. B. PALUMBO, M. ANGELONE, A. BELLANCA, C. DAZZI, S. HAUSER, R. NERI, J. WILSON, *Influence of inheritance and pedogenesis on heavy metal distribution in soil of Sicily, Italy*, Geoderma, 95: 247-266, 2000.
13. G. LORENZINI, G.F. SOLDATINI, *Responses of plants to Air Pollution*, Pacini Editore, Pisa, 1995.
14. G.F. SOLDATINI, L. GUIDI, *Biochemical aspects of plant-air pollutant interactions, in Responses of plants to Air Pollution*, Pacini Editore, Pisa, 23-35, 1995.

environment, VCH, Weinheim, 640-644 (1993).

Silicio e Proteine s'incontrano nuovamente all'ENEA

**ROBERTO PILLOTON¹,
FRANCO MAZZEI²**

¹ENEA, UTS Protezione e Sviluppo
dell'Ambiente e del Territorio, Tecnologie Ambientali

²Università di Roma "La Sapienza"

Silicio e proteine si sono nuovamente incontrati all'ENEA a cinque anni dal 2° Workshop Nazionale sui Sensori Chimici e Biosensori¹⁻³, in occasione del "Workshop on Biosensors and Bioanalytical μ -Techniques in Environmental and Clinical Analysis" svoltosi a Roma dall'8 al 12 ottobre.

La conferenza, patrocinata dalla IAEAC (International Association of Environmental Analytical Chemistry), ha mostrato un cambiamento sostanziale rispetto alle precedenti, focalizzate principalmente sui metodi bioanalitici per il monitoraggio ambientale, per la nuova attenzione verso i microsistemi analitici, le nanotecnologie, la genomica e la proteomica. Questi nuovi strumenti multidisciplinari consentono di affrontare problemi analitici e

bioanalitici attuali connessi ad aspetti del nostro ambiente che coinvolgono in egual misura la medicina, l'ambiente, l'agricoltura e l'alimentazione.

Le sessioni, le persone e i contenuti del workshop

La conferenza si è aperta il pomeriggio del venerdì 8 ottobre presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Roma, con interventi introduttivi del chairman del workshop, Roberto Pilloton (ENEA), del Presidente della IAEAC, Dieter Klockow (Università di Dortmund, Germania), Luigi Campanella (Università di Roma "La Sapienza"), Marco Mascini (Università di Firenze).

Klockow ha esordito illustrando il profilo della IAEAC, associazione *no-profit* sovranazionale impegnata, sin dal 1977, nello scambio di informazione scientifica tra esperti nei campi della chimica analitica, della ecotossicologia, della chimica ambientale, della valutazione del rischio e nelle aree correlate. Uno dei ruoli dell'associazione è quello di informare i suoi membri sui recenti avanzamenti scientifici e le nuove tecnologie, per incentivare la collaborazione multidisciplinare fra scienziati su problemi ambientali rilevanti e su questioni riguardanti la protezione e il controllo ambientale. Per raggiungere questi obiettivi l'associazione organizza simposi, workshop e corsi sulle nuove tecnologie, su specifici inquinanti ambientali, e pubblica atti, newsletters e riviste scientifiche internazionali.

Mascini, decano dei biosensori, cui va il merito di aver pioniericamente avviato negli anni 70 le ricerche sui biosensori elettrochimici in Italia e le collaborazioni con numerosi gruppi all'estero, ha simpaticamente rilevato il carattere familiare del workshop che raccoglie con cadenza biennale i vecchi e i nuovi ricercatori del campo, provenienti da molti paesi nel mondo. Nella sua retrospettiva dedicata alle numerose generazioni di ricercatori, italiani e stranieri, formati ed alternatisi nel suo laboratorio, ha poi introdotto le tematiche innovative che consentono e consentiranno, tramite i biosensori, di risolvere i problemi analitici più attuali. Campanella ha focalizzato l'attenzione dei partecipanti su un problema specifico che

potrebbe essere affrontato e risolto, in alcuni suoi aspetti, attraverso dispositivi biosensoristici, quello dell'etica e della bioetica.

Le sessioni scientifiche si sono svolte il 9 all'Università, Dipartimento di Chimica e Tecnologia delle Sostanze Biologicamente Attive, l'11 e 12 ottobre al CR Casaccia dell'ENEA.

I lavori sono stati aperti dalla relazione di Vadgama, del Queen Mary Institute (Università di Londra) sull'importanza delle membrane polimeriche nel determinare i fenomeni interfacciali, e sul loro impiego per garantire la stabilizzazione delle biomolecole ed il flusso di analiti sulla superficie dei sensori. Niemeyer (Università di Dortmund) ha brillantemente introdotto i partecipanti ai DNA-chip di nuova generazione, Gorton (Università di Lund) ha mostrato i recenti risultati del suo gruppo nel campo dei polimeri conduttori per il cablaggio molecolare di biomolecole o microorganismi, e Dominguez (Università di Alcalá) ha parlato dei sensori ad affinità basati sull'impiego di polielektroliti e della loro applicazione agli immunosensori e ai DNA-chips. Thierry Livache (Commissariat à l'Energie Atomique, CEA, Grenoble), ha presentato una relazione sui biochip basati su polipirrol per la rivelazione di frammenti di DNA o di oligosaccaridi, mentre Wilson (Central Science Laboratory, Sand Hutton) ha raccolto consensi con il suo punto di vista sulla realizzazione di nuovi biosensori ambientali e sui requisiti fondamentali per realizzarne di efficaci ed utili nel futuro. Hock (Università

Tecnica di Monaco) ha presentato una interessante relazione sull'impiego dei pattern di espressione genica come strumento di indagine analitica, mentre il contributo scientifico di Mascini (Università di Firenze) ha illustrato alcune applicazioni ambientali dei biosensori elettrochimici basati su DNA. Le relazioni su invito hanno fatto da introduzione per ognuna delle 7 sessioni scientifiche: Biosensori a DNA, Biosensori Enzimatici, Immunosensori, Applicazioni ambientali, Applicazioni alimentari, Applicazioni Mediche, Microsistemi e Nanotecnologie.

Gli atti del congresso sono stati raccolti in un *Abstract Book* edito dall'ENEA e riportato sul sito web del congresso (www.biosensing.net/iaeac), mentre i lavori pervenuti al chairman saranno sottoposti ad una *peer review* prima della loro pubblicazione su un volume speciale della rivista IJEAC (International Journal of Environmental Analytical Chemistry).

I premi ai giovani ricercatori

Nella sessione conclusiva sono stati consegnati 4 premi ai giovani ricercatori per i migliori poster. I poster sono stati valutati da una commissione internazionale di massimi esperti (Prof. Lo Gorton, Elena Dominguez, Berhold Hock, Pankaj Vadgama), che ha riconosciuto il valore della ricerca italiana premiando giovani ricercatori italiani ed uno straniero operante in un centro italiano.

Il premio "R.Frei", dal nome del fondatore della IAEAC, è

andato al dottorando Claudio Guidotti (Università di Firenze) per il poster dal titolo *Characterisation of Tethered Bilayers on Gold Electrodes as Models of Biomimetic Membranes*, presentato nella sessione Microsistemi e Nanotecnologie.

Il premio Metrohm - Ecochemie (sponsor olandese) è andato alla dr.ssa Caroline Michel (BRGM, Orleans) per il poster intitolato *Amperometric Enzyme-Based Sensor for Chromate Bioavailability Determination*, presentato nella sessione Applicazioni ambientali.

Il premio Palmsens (altro sponsor olandese del congresso) è andato alla dottoranda Sara Morandi (Università di Firenze) per il poster dal titolo *Study of Langmuir Monolayers and LB Film Containing Drug Molecules for Biosensor Applications*, presentato nella sessione Microsistemi e Nanotecnologie. Infine, il premio Cosmic (Coupling Smart Molecules into Chips), dal nome del progetto strategico su Biosensori e Bioelettronica dell'ENEA, è andato alla dr.ssa Andri Papadoupoulos, di nazionalità greca ma impegnata in Italia presso l'EC-JRC di Ispra, con il poster dal titolo *Evaluation of Antibody Immobilization Strategies for a Piezoelectric Immunosensor Development*, presentato nella sessione Applicazioni ambientali.

Ringraziamenti e Credits

Il workshop è stato interamente supportato finanziariamente dalle tasse d'iscrizione dei partecipanti e dai contributi degli

sponsor. Con questi introiti è stato possibile supportare parzialmente le spese di viaggio di 13 dottorandi particolarmente meritevoli e provenienti da paesi disagiati o in via di sviluppo. Il centro di Trieste dell'ICTP "Abdus Salam, International Centre of Theoretical Physics" ha contribuito alla partecipazione di dottorandi indiani. L'ENEA ha fornito la sala conferenze ed un patrimonio di professionalità senza le quali l'organizzazione del workshop non sarebbe stata possibile. L'Università di Roma "La Sapienza" oltre a fornire le strutture ed il personale tecnico, ha contribuito con un finanziamento di 5000 euro. I relatori invitati non hanno percepito alcun compenso e la loro gentile adesione alla manifestazione è da considerarsi motivata unicamente dall'interesse scientifico per l'evento.

Un ringraziamento particolare va ai precari dell'Università e dell'ENEA che, con il loro bagaglio di entusiasmo, hanno permesso di realizzare l'impossibile. Gli sponsor hanno validamente supportato l'evento manifestando interesse all'impiego di nuovi dispositivi basati sul principio dei biosensori, in particolare la Dow-Agroscience e la Pall Corporation.

Conclusioni

Il presidente dell'IAEAC, Dieter Klockow, ha concluso il workshop complimentandosi con gli organizzatori per l'elevata partecipazione numerica (raddoppiata rispetto all'ultima edizione) e con gli autori per il livello scientifico degli interventi. Il Presidente ha continuato sostenendo che l'approccio mul-

tidisciplinare che ha caratterizzato il workshop ha dato impulso recentemente a nuove importanti idee ed applicazioni in numerosi campi di ricerca, tra i quali quello dei biosensori, conducendo ad importanti risultati per migliorare la qualità della vita nel nostro pianeta.

La determinazione analitica di specie chimiche nell'aria, nelle acque e nei suoli riveste oggi particolare importanza non solo per il controllo, la prevenzione, la depurazione, ma anche per la salute degli ecosistemi, la qualità della vita, includendo insieme all'uomo tutti gli esseri viventi, la diagnostica clinica e la sicurezza alimentare, le attività agro-industriali e i loro prodotti.

In questo senso la necessità di controlli di un "Ambiente" così complesso, riflette la richiesta pressante di misure analitiche, principalmente in termini numerici ed economici, ma anche in termini di conoscenza delle relazioni tra cause ed effetti.

In Italia e all'estero, le relazioni di alcuni dei maggiori decani della ricerca sui Biosensori e l'ampia partecipazione di giovani ricercatori testimoniano i risultati rilevanti che l'entusiasmo, l'interesse e lo sforzo non indifferente in queste tematiche hanno prodotto recentemente. Per queste ragioni, gli organizzatori del workshop hanno ricevuto il riconoscimento corale di tutti i partecipanti per il buon lavoro svolto e auspicano che le prossime edizioni del workshop costituiscano ancora una volta un'occasione fruttuosa d'incontro tra scienziati per generare nuove sinergie, nuove frontiere e, per

dirla con le parole di un Nobel che vale (H.Hesse), nuove conoscenze e nuovi stimolanti interrogativi.

Per maggiori dettagli:

www.biosensing.net/iaeac

Bibliografia

1. *Atti del 2° Workshop sui sensori Chimici e Biosensori*, 18-19 Marzo 1999, R.Pilloton & F.Mazzei, Editore dall'ENEA (2000) ISBN 88-8286-072-8
2. *Energia Ambiente e Innovazione* (1999) n.3
3. <http://192.107.77.201/workshop/autostart.htm>

Misura di composti alogenati in atmosfera mediante gascromatografia e spettrometria di massa (GC-MS)

**FLORINDA ARTUSO,
PAOLO CHAMARD**

ENEA, Progetto Speciale Clima Globale

È stata recentemente messa a punto, presso i laboratori del Centro Ricerche ENEA della Casaccia una nuova linea di misura per il monitoraggio di HCFC, HFC e SF₆ in atmosfera. Tali gas vengono usati come propellenti, schiumogeni e come refrigeranti al posto dei clorofluorocarburi (CFC) dopo che, con il Protocollo di Montreal, si è vietata la produzione di questi ultimi a

partire dal 1996 (l'utilizzo dei CFC è stato proibito a partire dal 31 dicembre 2000).

Gli HCFC rispetto ai clorofluorocarburi contengono un minor numero di atomi di cloro e di conseguenza sono meno dannosi nei confronti della distruzione dell'ozono stratosferico¹. Gli HFC contengono solo atomi di fluoro, carbonio e idrogeno e pertanto non hanno

alcun effetto sul buco dell'ozono. Tuttavia sia gli HCFC che gli HFC e l'SF₆ contribuiscono all'effetto serra in quanto hanno un alto potenziale di riscaldamento (assorbono la radiazione infrarossa). Per questo motivo sta diventando di cruciale importanza nell'ambito delle indagini sui cambiamenti climatici, lo studio dell'aumento della concentrazione di queste sostanze in atmosfera conseguente al loro utilizzo in sostituzione dei CFC²⁻⁷. Il monitoraggio in luoghi remoti, quali l'isola di Lampedusa, consente di valutare l'impatto che questi gas hanno su scala globale.

Lampedusa è una piccola isola nel Mediterraneo, più vicina alla Tunisia che alla Sicilia. La superficie dell'isola è di circa 20 km², la sua massima elevazione è di 120 m. L'isola è costituita prevalentemente da roccia calcarea, ed essendone stata completamente disboscata la superficie circa 300 anni fa, è oggi molto povera di vegetazione. Sull'isola vivono circa 5000 persone, quasi tutte nel paese di Lampedusa; non sono presenti attività industriali, e le sorgenti locali di inquinanti sono molto ridotte.

Per queste caratteristiche la Stazione di Lampedusa realizzata dall'ENEA è rappresentativa delle condizioni di fondo di una vasta porzione

| Denominazione | Formula chimica |
|----------------------|------------------------------------|
| Esafluoruro di zolfo | SF ₆ |
| HCFC-22 | CHF ₂ Cl |
| HFC-134a | CH ₂ FCF ₃ |
| HCFC-142b | CH ₃ CF ₂ Cl |
| HCFC-141b | CH ₃ CFCl |

Tabella 1

I gas ad impatto climatico rilevati dalla Stazione di Lampedusa

del bacino Mediterraneo. Dal 1992 l'ENEA ha avviato nell'isola un programma di misure a lungo termine di gas a impatto climatico, come l'anidride carbonica e il metano. Nel 1998 si realizza un laboratorio che attualmente conta una vasta gamma di apparecchiature per indagini climatiche. La linea di misura per composti alogenati, messa a punto nei laboratori ENEA della Casaccia, va ad affiancare e a completare i sistemi di monitoraggio di gas serra (CO₂, CH₄, N₂O, CFC-11, CFC-12) già presenti nella Stazione di Lampedusa.

A livello internazionale è presente il World Data Centre for Greenhouse Gases (WDCGG), un centro mondiale di raccolta dati sui gas serra stabilito nell'ambito della rete del Global Atmosphere Watch (GAW) dell'Organizzazione Meteorologica Mondiale (WMO), un organismo dell'ONU. La Stazione ENEA di Lampedusa è inserita nel GAW e invia regolarmente i dati di concentrazione dei gas serra e i dati meteorologici al WDCGG.

In particolare, i gas che vengono determinati, su campioni d'aria prelevati con frequenza settimanale, sono riportati in tabella 1.

Questa attività di ricerca viene finanziata dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio.

Apparato sperimentale

Il sistema di campionamento è costituito dalle seguenti parti:

- 1) testa di campionamento;
- 2) trappola per l'umidità contenente perclorato di magnesio;
- 3) pompa a secco a pistone;

| | Standard 1 (conc.ppt) | Standard 2 (conc.ppt) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|
| SF ₆ | 5,29 | 9,06 |
| HFC-134a | 28,3 | 47,3 |
| HCFC-141b | 17,4 | 45,0 |
| HCFC-142b | 15,3 | 43,0 |
| HCFC-22 | 163,5 | 205,3 |

Tabella 2
Composizione delle miscele di gas standard utilizzati nella calibrazione

4) contenitore d'acciaio (canister) da 6 l internamente passivato con silice fusa (silonite).

L'aria nei canister viene portata a una pressione di 300 kPa. Data la bassa concentrazione di tali gas in aria (dell'ordine di poche decine di ppt) e dati i limiti di rivelabilità dell'analizzatore (gascromatografo accoppiato ad uno spettrometro di massa) è necessario utilizzare un sistema di preconcentrazione prima dell'analisi, in modo da arricchire il campione del componente che si vuole determinare⁸. Per l'analisi di composti in tracce si utilizzano vari sistemi di preconcentrazione⁹.

A tale scopo è stato usato un sistema di preconcentrazione su trappole adsorbenti raffreddate elettricamente e successivo stadio di desorbimento termico. Con questo metodo si fa passare il campione d'aria, contenuto nei

canister d'acciaio attraverso una trappola che trattiene selettivamente la sostanza da determinare. La trappola viene mantenuta a temperatura sub-ambiente da una cella Peltier. Durante il processo di desorbimento termico, mediante riscaldamento e passaggio di un flusso di gas inerte, si estrae il composto da analizzare dalla trappola o dal capillare. Gli analiti desorbono nel flusso di gas e vengono trasferiti all'analizzatore. Il volume di eluizione per la completa estrazione deve essere molto piccolo per avere una buona risoluzione analitica e un'alta sensibilità.

Nel caso specifico per la separazione è stata usata una colonna capillare a base di ciclodestrine (Gaspro), particolarmente adatta per miscele di clorofluorocarburi e sostanze affini¹⁰.

Questo tipo di colonna consente la separazione di tali

| T velocità (°C/min) | T finale (°C) | t (min) |
|---------------------|---------------|---------|
| | 40 | 3 |
| 20 | 120 | 3 |
| 10 | 150 | 2 |
| 10 | 220 | 10 |

Tabella 3
Parametri di crescita della temperatura nella colonna, così come settati nello strumento

| Composto | Peso molecolare | T ebollizione(°C) | t di ritenz.(min) | Massa frammento più abbondante |
|---|-----------------|-------------------|-------------------|--|
| SF₆ | 146 | -64 | 6,98 | SF ₅ ⁺ = 127 |
| HCFC-22 (CHF₂Cl) | 86 | -40,8 | 11,42 | CHF ₂ ⁺ = 51 |
| HFC-134a (CH₂FCF₃) | 102 | -26,1 | 12,66 | CH ₂ CF ₃ ⁺ = 83 |
| HCFC-142b (CH₃CF₂Cl) | 100 | -9,3 | 15,68 | CH ₃ CF ₂ ⁺ = 65 |
| HCFC-141b (CH₃CFCl₂) | 116 | 32,2 | 20,73 | CH ₃ CFCl ⁺ = 81 |

Tabella 4

Tempi di ritenzione di ciascuna sostanza, temperatura di ebollizione e massa dello ione più abbondante

gas anche a temperature superiori a 40 °C ed è molto più efficiente delle colonne PLOT (Porous Layer Open Tubular) ampiamente usate per lo stesso scopo¹¹.

Lo spettrometro (5973N Agilent Technologies) di massa a quadrupolo e con pompa a diffusione, consente la rivelazione dei vari gas in uscita alla colonna mediante il rapporto massa/carica dei vari ioni.

Le miscele di gas standard utilizzati per fare le rette di calibrazione sono stati acquistati dal laboratorio Halocarbons and Other Atmospheric Trace Species (HATS) - Climate Monitoring and Diagnostic Laboratory (CMDL) della NOAA e han-

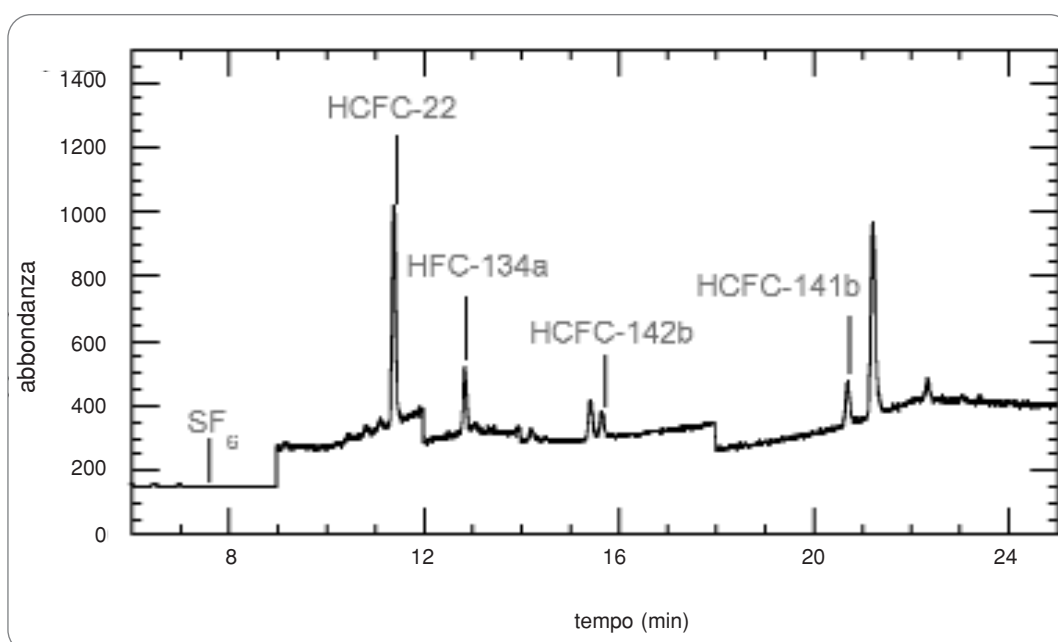
no le composizioni riportate in tabella 2.

Metodo di misura

I campioni d'aria prelevati a Lampedusa vengono trasportati presso il CR Casaccia in canister d'acciaio da 6 litri. Ciascun campione passa per 60 minuti attraverso una trappola adsorbente mantenuta alla temperatura di -13 °C. La trappola contiene 3 diversi riempimenti (tenax, e 2 tipi di adsorbenti carboniosi) che trattengono i vari composti, dal più volatile (SF₆) a quello col punto di ebollizione più alto (HCFC-141b). Dopo 2 minuti di pulizia della trappola, in cui viene fatto passare elio

per ripulirla dagli ossidanti, inizia il desorbimento (3 minuti a 200 °C) e il campione viene iniettato in colonna attraverso una linea di trasferimento (capillare in vetro di 2 m con diametro interno di 0,01 mm). La temperatura della colonna segue una programmata come mostrato nella tabella 3.

In tal modo si ottiene un'ottima separazione dei picchi di nostro interesse. Lo spettrometro di massa lavora in modalità SIM (Selected Ion Monitoring). Gruppi di singoli ioni vengono rivelati a differenti intervalli di tempo, dipendentemente dal tempo di ritenzione di ogni singola sostanza. Così facendo si massimizza la sensibilità

**Figura 1**

Cromatogramma ottenuto con il sistema di misura GC-MS su un campione d'aria prelevato a Lampedusa

Tabella 5

Valori dei campioni prelevati a Lampedusa a confronto con misure effettuate presso la Stazione NOAA di Mace Head (Irlanda)

| | Lampedusa -ENEA | Mace Head NOAA-CMDL |
|-----------------|--------------------|------------------------|
| SF ₆ | 7,0 | 5,3 |
| HCFC-22 | 183,4 | 168,8 |
| HCFC-134a | 35,9 | 29,8 |
| HCFC-142b | 17,7 | 15,3 |
| HCFC-141b | 22,4 | 18,8 |

della misura, eliminando eventuali interferenze dovute ad altri picchi dell'aria e ad impurezze.

In tabella 4 sono riportati i tempi di ritenzione di ciascuna sostanza, la temperatura di ebollizione e la massa dello ione che si forma in maggior quantità dalla frammentazione di ciascuna sostanza.

Il cromatogramma che si ottiene è mostrato in figura 1. Per allungare il tempo di vita del filamento nella sorgente dello spettrometro di massa, si è utilizzato un *solvent delay* (ritardo nell'acquisizione) di 6 minuti. In tal modo, quando nei primi 6 minuti esce il picco dell'aria, il filamento è spento e non subisce una dannosa ossidazione.

Risultati preliminari

I risultati delle prime analisi effettuate su campioni prelevati a Lampedusa mostrano di essere in linea con i risultati ottenuti in altre stazioni di monitoraggio.

In tabella 5 sono mostrati i valori ottenuti sui campioni di Lampedusa (35° 31' nord, 12° 38' est) prelevati il 16 gennaio 2004 con quelli ottenuti nella Stazione NOAA-CMDL di Mace Head, sulla costa occidentale dell'Irlanda (53° 20' nord, 9° 54' ovest), il 28 aprile del 2003.

st), il 28 aprile del 2003.

I risultati di Mace Head sono stati presi dalla banca dati sui gas serra dell'Organizzazione meteorologica mondiale (WMO). Mace Head, come Lampedusa, fa parte della rete di stazioni di monitoraggio del Global Atmosphere Watch (GAW). Questa stazione è stata presa in considerazione per confrontare i dati di Lampedusa, in quanto è l'unica in Europa a fare misure di fondo di HCFC e HFC in atmosfera.

Nonostante i valori di Mace Head risalgano a circa un anno prima di quelli di Lampedusa, calcolando la velocità di crescita della concentrazione di ciascuna specie, si può verificare la consistenza delle misure finora effettuate nei nostri laboratori.

Bibliografia

1. McCULLOCH A., *Journ. of Fluorine Chemistry*, 100, 163-173, 1999.
2. MONTZKA S. A., R.C. MYERS, J. H. BUTLER, AND J. W. ELKINS, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 21, n.23, 2483-2486, 1994.
3. SCHAUFFLER S. M., W. H. POLLOCK, AND J. S. DANIEL, *Geophys. Res. Letters*, vol. 22, no.7, 819, 1995.
4. ORAM D. E., C. E. REEVES, P. J. FRASER, *Geophys. Res. Letters*, vol. 22, no. 20, 2741, 1995.
5. LEE J.M.; W. T. STURGES, R.

BAUER, *Geophys. Res. Lett.*, vol. 22, no. 11, 1369, 1995.

6. SHIRAI T., Y. MAKIDE, *Chemistry Letters*, 4, 357, 1998.
7. MONTZKA S. A., MYERS, J. H. BUTLER, AND J. W. ELKINS, L.T. LOCK, A.D. CLARKE, A.H. GOLDSTEIN, *Geophys. Res. Letters*, vol. 23, no.2, 169-172, 1996.
8. MANGANI F., M. MAIONE, L. LATTANZI, AND J. ARDUINI, *Atmospheric Environment*, 34, 5303-5309, 2000.
9. CAMEL V., M. CAUDE, *Journ. of Chromatography A*, 710, 3-19, 1995.
10. O'DOHERTY S. J., G. NICKLESS, M. BASSFORD, M. PAJOT, AND P. SIMMONDS, *Journ. of Chromatography A*, 710, 3-19, 1995.
11. GREALLY R., G. NICKLESS, P. G. SIMMONDS, M. WOODWARD, AND J. DE ZEEUW, *Journ. of Chromatography A*, 810, 119-130, 1998.

dal **MONDO****World Energy Outlook
2004****Accordo italo-cinese
sull'idrogeno****La Russia ha ratificato il
Protocollo di Kyoto****WORLD ENERGY OUTLOOK
2004**

È stato presentato in novembre, per la prima volta in Italia, il World Energy Outlook 2004, oltre 600 pagine di dati, analisi, statistiche che illustrano la questione energetica mondiale, volgendo uno sguardo al futuro.

In assenza di cambiamenti di rotta da parte dei governi, le proiezioni dell'AIE, che ha preparato il rapporto, non si possono considerare incoraggianti. Da oggi fino al 2030 la domanda complessiva di energia crescerà del 59%, di cui l'85% sarà soddisfatta da combustibili fossili con evidente aumento delle emissioni di carbonio. Tra i mercati emergenti che rinforzeranno tale domanda, i due

terzi saranno rappresentati da India e Cina, mentre l'estrazione del petrolio, che raggiungerà i 121 barili al giorno, si concentrerà soprattutto nei paesi del Medio Oriente. Si aggraverà così la dipendenza da questa area molto instabile, mentre l'utilizzo delle fonti rinnovabili, anche se si triplicherà, rappresenterà solo il 6% della produzione di elettricità.

Ma la novità di questa edizione 2004 è lo "Scenario Alternativo", ovvero uno studio dell'attuale modello energetico-economico in previsione di un (auspicabile) rafforzamento delle politiche ambientali su scala globale. I dati sono incoraggianti: potrebbero verificarsi sia una diminuzione del 10% della domanda complessiva sia una riduzione del 16% delle emissioni di anidride carbonica.

**ACCORDO ITALO-CINESE
SULL'IDROGENO**

È stato sottoscritto, il 29 settembre a Shanghai, un accordo per la promozione di progetti di collaborazione italo-cinesi finalizzati alla produzione di idrogeno e all'innovazione tecnologica nel campo delle celle a combustibile.

L'accordo che coinvolge il Ministero italiano dell'Ambiente, la Regione Lombardia, il Ministero della Scienza e della Tecnologia cinese, e la Municipalità di Shanghai, prevede l'avvio di linee progettuali riguardanti tre attività. Lo sviluppo di tecnologie innovative per produrre l'idrogeno da fonti di energia rinnovabile e da combustibili fossili, attraverso processi che prevedono l'assorbimento degli ossidi di carbonio; la promozione di tecnologie per le celle a combustibile nei settori del trasporto e della produzione e la distribuzione di elettrici-

tà; lo scambio di esperienze e la collaborazione nel campo dell'accumulo, del trasporto e della distribuzione dell'idrogeno con particolare riferimento alle aree urbane.

L'accordo si inquadra nella Partnership su Hydrogen Economy, di cui fanno parte, oltre a Cina e Italia anche altri paesi come Stati Uniti, Francia, Germania, Brasile, Giappone, Russia e Regno Unito. Entro la fine dell'anno il Comitato di Controllo italo-cinese, istituito con l'accordo, approverà il programma di lavoro e il relativo piano finanziario, che individuerà le fonti di finanziamento italiane, cinesi e multilaterali (World Bank, GEF, Fondi Europei) necessarie allo sviluppo dei progetti.

**LA RUSSIA HA RATIFICATO IL
PROTOCOLLO DI KYOTO**

Anche la Russia ha formalmente aderito al Protocollo di Kyoto sul riscaldamento globale, seguendo quanto annunciato un mese prima dal presidente Putin.

Presso la sede ONU di Nairobi (Kenya), è stata depositata a novembre la documentazione russa di ratifica del Protocollo, da parte dell'ambasciatore Andrei Denisov, rappresentante permanente della Russia presso le Nazioni Unite. Ora, come stabiliscono le procedure, il Protocollo entrerà in vigore e sarà legalmente vincolante dopo 90 giorni, e cioè, esattamente, il 16 febbraio 2005.

Con la firma del Protocollo, ratificato da entrambi i rami del Parlamento russo, sono arrivati a 55 i paesi industrializzati che si impegnano ad effettuare tagli significativi nelle emissioni di anidride carbonica a partire dal 2012.



NUOVI SISTEMI SOLARI TERMICI

I sistemi solari termici sono in grado di fornire un contributo fondamentale alla salvaguardia dell'ambiente e al risparmio delle risorse energetiche tradizionali. Anche se si tratta di una tecnologia ad uno stadio di piena maturità, tuttavia per una sua ulteriore diffusione è richiesta un'attività continua di sviluppo ed ottimizzazione. Per affrontare questa sfida, è stato avviato il progetto europeo NEGST (New Generation of Solar Thermal Systems), coordinato dall'Università di Stoccarda insieme alla Società di Termotecnica ed Energia Solare di Stoccarda. Oltre ai tradizionali sistemi

solari per la produzione di acqua calda per uso igienico-sanitario (DHW), il progetto prende in considerazione i sistemi combinati (acqua calda sanitaria e riscaldamento ambientale) e gli impianti per il raffrescamento e la dissalazione alimentati da fonte solare.

Il progetto vede coinvolte 18 istituzioni, operanti nei settori della ricerca e dell'industria di 14 paesi europei, tra le quali è presente l'ENEA che coordina il *work package 5*. L'obiettivo è quello di considerare le esigenze di sviluppo di tutti i principali sistemi utilizzati a livello europeo e di creare i presupposti per un mercato europeo più omogeneo, requisito indispensabile per una sua ulteriore crescita.

Per ulteriori informazioni, <http://www.swt-technologie.de/html/negst.html>

IL CERN HA 50 ANNI

Si è festeggiato il 29 settembre in tutta Europa il cinquantesimo anniversario della nascita del CERN (Centro Europeo di Ricerche Nucleari), che ha sede a Ginevra.

Il CERN è il più importante centro di ricerca mondiale per la fisica delle particelle ed è impegnato nella realizzazione di LHC, il nuovo acceleratore che dovrebbe iniziare a funzionare nel 2007 grazie ad una collaborazione internazionale alla quale partecipano anche gli Stati Uniti.

In mezzo secolo il CERN ha costruito e gestito acceleratori importanti come l'SSC e il LEP, e ha permesso la scoperta di strutture della fisica fondamentale.

Ma non va dimenticato che al CERN è nato anche il World Wide Web (www), creato per rispondere alla domanda di comunicazione scientifica tra i ricercatori e divenuto poi strumento fondamentale per la diffusione globale e capillare di Internet.

PROGETTO ANVIMAR

La Commissione Europea ha approvato definitivamente le conclusioni tecniche e i consuntivi del Progetto Anvimar realizzato da ISNOVA con la collaborazione dell'ENEA.

Il Progetto Anvimar, cofinanziato dalla Commissione, aveva come obiettivo quello di promuovere gli accordi in materia di scambio di certificati verdi, nel quadro delle politiche di cooperazione nell'area del Mediterraneo. Al Progetto hanno, infatti, partecipato oltre all'Italia come capofila, la Spagna, la Turchia, la Palestina, la Tunisia ed il Marocco.

Le risultanze del Progetto hanno consentito, tra l'altro, di individuare aree economiche e progetti di possibile interesse tra il nostro Paese e quelli della sponda sud del Mediterraneo, nonché i lineamenti delle possibili forme contrattuali che dovrebbero stabilirsi tra le imprese interessate. In questo senso il Progetto pone le premesse generali per questi scambi di certificati, ma indica anche la necessità di un supporto pubblico per gli sviluppi successivi.

La sintesi del lavoro svolto: "A Guide to the implementation of CDM Projects in Mediterranean Countries" può essere richiesta a ISNOVA: isnova@isnova.it

dall'**ITALIA****Al via lo scambio di quote di emissione****Importante gasdotto Italia-Libia****Nuovo impianto eolico in Sardegna****In preparazione la XV Settimana della Cultura S&T****Rapporto ENEA Energia e Ambiente 2004****AL VIA LO SCAMBIO DI QUOTE DI EMISSIONE**

Prende il via anche in Italia il commercio delle emissioni di gas ad effetto serra. Il Consiglio dei Ministri dell'11 novembre ha approvato un decreto legge che recepisce la direttiva comunitaria 2003/87/CE che istituisce uno schema per lo scambio di quote di emissione dei gas serra in applicazione del Protocollo di Kyoto.

Secondo tale direttiva, con l'inizio del 2005 nessun impianto - dei settori termoelettrico, raffinazione, vetro, cemento, acciaio, ceramiche, laterizi e carta - potrà emettere gas ad effetto serra e quindi continuare a produrre in assenza di una apposita autorizzazione.

Per questo il decreto attribuisce il ruolo di Autorità nazionale competente al Ministero dell'Am-

biente e Tutela del Territorio, fino all'avvenuto recepimento della direttiva, e obbliga i gestori degli impianti a presentare la richiesta di autorizzazione ad emettere gas serra entro il 5 dicembre 2004 per permettere all'Autorità nazionale competente di procedere all'assegnazione delle quote di emissione di CO₂ entro il 31 dicembre 2004.

IMPORTANTE GASDOTTO ITALIA-LIBIA

E' stato inaugurato il 7 ottobre il gasdotto Greenstream di 520 km che collega la Libia alla Sicilia, nell'ambito del Western Gas Project (WLG), e trasporterà ogni anno 8 miliardi di m³ di gas, pari a circa il 10% del fabbisogno italiano.

Il WLG è il più importante progetto mai realizzato nel bacino del Mediterraneo per valorizzare l'esportazione e la commercializzazione in Europa del gas naturale libico.

Il gas estratto dai giacimenti di Wafa, nel deserto, e Bahr Essalam, in mare, viene inviato a Mellitah da dove attraverso il Greestream arriva in Italia. Partner dell'ENI nel progetto è la Noc, la compagnia di Stato libica. Varato nel 1999, il progetto ha richiesto un investimento di 7 miliardi di euro, di cui 3,7 in quota ENI. Nei lavori sono state impegnate 20 mila persone.

NUOVO IMPIANTO EOLICO IN SARDEGNA

Con 36 turbine eoliche da 1,5 megawatt è stato realizzato a Littigheddu, in Sardegna, il più grande progetto di sfruttamento del vento per la produzione di energia elettrica realizzato da ENEL e uno dei più estesi in Italia.

Per questa installazione sono stati utilizzati aerogeneratori della GE Energy, una delle aziende leader nel settore, che ha annunciato di avere così installato la sua 2500^a turbina da 1,5 megawatt.

IN PREPARAZIONE LA XV SETTIMANA DELLA CULTURA S&T

Si svolgerà, dal 14 al 20 marzo 2005, la XV Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica che, attraverso mostre e incontri organizzati in tutto il Paese e indirizzati in particolare agli studenti, si impegna nel far conoscere l'impatto rilevante che la scienza ha sul vivere quotidiano. In occasione dell'Anno Internazionale della Fisica proclamato da Unesco e Nazioni Unite, il Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca ha scelto come temi: le grandi scoperte della Fisica del XX secolo e le loro applicazioni; la centralità dell'acqua; l'energia alla base delle moderne società industriali; le nuove prevenzioni e le nuove terapie per una miglior salvaguardia della salute; dallo spazio le straordinarie informazioni sulla Terra e sulla sua collocazione nell'Universo.

Gli argomenti proposti offrono spunti di riflessione sulle grandi scoperte della fisica nel secolo scorso e vogliono contemporaneamente richiamare l'attenzione del visitatore, e dei giovani in particolare, sul ruolo e sull'importanza del legame della fisica con le altre discipline per la soluzione dei problemi globali.

RAPPORTO ENEA ENERGIA E AMBIENTE 2004

È stato presentato a Roma il 25 novembre dal prof. Carlo Rubbia il Rapporto Energia-Ambiente 2004, un lavoro di analisi a cadenza annuale sulla situazione energetico-ambientale del Paese. Il prof. Rubbia, traendo spunto dalla presentazione del Rapporto, ha svolto un'ampia riflessione sul nostro Paese, la dipendenza negli approvvigionamenti, i vincoli ambientali e il rispetto degli impegni di Kyoto, le attività di ricerca e sviluppo per le quali ha auspicato un sensibile incremento dei finanziamenti. Il prof. Rubbia ha poi indicato alcune linee che ritiene prioritarie al fine di coglie-

re l'opportunità di sviluppare nel nostro Paese tecnologie innovative per la produzione e l'utilizzo dell'energia nel rispetto dei valori ambientali, quali ad esempio il solare ad alta temperatura per la generazione di elettricità e di idrogeno e i processi per l'uso del carbone agli stessi fini soddisfacendo requisiti di bassissimo impatto ambientale: su tali tecnologie l'E-NEA sta realizzando importanti progetti di ricerca e sviluppo in stretta cooperazione con l'industria nazionale.

Il Rapporto predisposto dall'E-NEA illustra l'evoluzione del quadro italiano per quanto riguarda domanda e offerta energetica, ricadute ambientali, sviluppi tecnologici, e politiche a scala internazionale, nazionale e locale su energia e ambiente.

Per quanto riguarda i consumi energetici, la stagnazione dell'economia italiana e le condizioni climatiche prevalenti (soprattutto una estate lunga e particolarmente calda) hanno determinato, nel corso del 2003, un innalzamento della domanda complessiva di energia primaria di circa il 3% e un peggioramento dell'intensità energetica rispetto all'anno precedente. Il fabbisogno di energia primaria per fonti evidenzia la riduzione dei consumi di petrolio e l'aumento dei combustibili fossili, soprattutto del carbone e del gas, quali fonti sostitutive nella generazione elettrica.

Tra gli impieghi finali di energia, particolarmente importante risulta essere l'incremento dei consumi del settore civile (residenziale e servizi) dell'8,4% a seguito sia di fattori climatici sfavorevoli, sia di fattori economici e sociali. L'incremento dei consumi nei trasporti, invece, è stato più contenuto (+2,3%), a causa dell'approssimarsi di situazioni di saturazione soprattutto nel trasporto su strada. In questo settore i consumi di prodotti petroliferi mostrano una crescita del 2,1% grazie alla crescita del gasolio quale sostit-

tuto della benzina. Infine, i consumi del settore industriale hanno avuto un incremento molto modesto: appena l'1,4%.

Il livello di dipendenza energetica è aumentato ed è aumentata la fattura energetica (+104 milioni di euro) dell'Italia verso l'estero, pur beneficiando dell'apprezzamento dell'euro nei confronti del dollaro.

Nel 2003, la produzione nazionale di fonti energetiche ha subito una leggera contrazione (-1%) rispetto all'anno precedente, a seguito di una riduzione significativa della produzione di gas naturale (-6,3% rispetto al 2002) e al progressivo esaurirsi dei giacimenti nazionali di idrocarburi.

Si è assistito inoltre ad una contrazione della produzione di elettricità da rinnovabili imputabile alla riduzione del contributo da fonte idroelettrica e al rallentamento dei tassi di crescita di tutte le altre fonti energetiche rinnovabili. Il black-out del 28 settembre 2003 ha riportato alla ribalta il problema della sicurezza degli approvvigionamenti energetici, e della loro efficienza ed affidabilità per una economia sviluppata.

Il prezzo del petrolio nel 2003 ha sfiorato i 30\$/bl a seguito della crisi in Iraq e della ripresa dell'attività produttiva mondiale, ma anche della decisione dei paesi produttori di compensare con prezzi più alti la perdita di potere d'acquisto dovuta all'indebolimento del dollaro.

Durante il 2004, la crescita dell'economia mondiale (soprattutto asiatica), le pressioni speculative, il peggioramento della situazione politica mediorientale e altre situazioni contingenti hanno portato le quotazioni oltre i 50 dollari al barile in ottobre.

Se la pressione sui prezzi sembra essersi attenuata, i dati congiunturali fanno temere che resterà su livelli alti fino alla fine dell'inverno 2004-2005.

Gli indici di efficienza energetica per macrosettori economici,

sembrano restare stazionari.

Gli indicatori di intensità energetica negli ultimi anni, in Italia, non sono riusciti a seguire i trend degli altri paesi in direzione di un ulteriore abbassamento.

In relazione al Protocollo di Kyoto, il settore energetico italiano è stato responsabile dell'emissione di circa 443 Mt. di anidride carbonica nel 2002 (+1,3% rispetto al 2001).

Il settore dei trasporti è responsabile dell'incremento più elevato (22,7%) rispetto all'anno 1990, seguito dal settore della produzione e trasformazione energetica (15%).

Solo il settore delle industrie manifatturiere e delle costruzioni ha evidenziato una contrazione del livello di emissioni del 3,3%.

La traiettoria crescente delle emissioni dell'Italia rende imprescindibile il ricorso ai meccanismi flessibili previsti dal Protocollo di Kyoto.

Il rapporto tra i ruoli del Governo e delle Regioni e la continua ricerca di un equilibrio tra di essi hanno costituito un elemento importante nelle diverse scelte energetiche fatte nel 2003-2004, come è emerso nel recente processo autorizzativo di nuove centrali elettriche a fronte del gran numero di domande (legge n. 239/2004). Già più della metà delle Regioni si sono dotate di strumenti di programmazione energetico-ambientale, mentre altre li stanno predisponendo.

Per quanto riguarda gli investimenti pubblici per la ricerca in campo energetico, il trend è decisamente negativo, con un livello della spesa nel 2003 ridotto a poco meno della metà del livello del 1990 in termini reali.

La riduzione ha interessato soprattutto le attività di ricerca su tecnologie orizzontali e sul risparmio ed efficienza energetica.



PROVE COMPONENTI PER LHC

Saranno effettuati presso il Centro Ricerche di Frascati, i test per il collaudo dei discendenti di corrente superconduttori ad alta temperatura critica, da 6 e 13 kA, che verranno utilizzati per l'alimentazione dei magneti del Large Hadron Collider (LHC), il nuovo acceleratore di particelle in costruzione presso il CERN di Ginevra. L'ENEA ha potuto aggiudicarsi la gara internazionale di 860 mila euro indetta dal CERN, grazie alle consolidate competenze acquisite nel campo della superconduttività in tanti anni di ricerca sulla fusione termonucleare, e agli impianti, disponibili presso i laboratori di Frascati, sviluppati ed utilizzati per la caratterizzazione dei magneti superconduttori per la fusione. I test, da completare

nell'arco di 26 mesi, su circa 300 campioni di discendenti, consistono in una serie di prove preliminari di isolamento e di tenuta a temperatura ambiente, seguite da una caratterizzazione elettrica e di durata (tre ore) alla temperatura dell'elio liquido ed alla corrente nominale. Dopo l'assemblaggio dei discendenti a coppie nel criostato, il sistema viene prima raffreddato e successivamente riscaldato a temperatura ambiente. Si procede quindi alla verifica, che raffreddamento e riscaldamento non abbiano danneggiato i discendenti, tramite una prova sotto vuoto con spettrometro di massa ed una prova in tensione degli isolamenti.

PROGRAMMA SUL CLIMA A LAMPEDUSA

Dal 20 settembre al 5 ottobre a Lampedusa, nella Stazione permanente di osservazioni climatiche dell'ENEA, si è svolto il programma di ricerche sperimentali denominato C-Mare, Central Mediterranean Aerosol and Radiation Experiment. Organizzato da ENEA, Università di Roma "La Sapienza" e Istituto di Ricerche per la Meteorologia e il clima di Garmisch (Germania), C-Mare ha l'obiettivo di misurare direttamente una serie di parametri, ma anche di raccogliere dati e informazioni complementari, per studiare e analizzare le proprietà del particolato atmosferico, gli aerosol atmosferici, e degli effetti da esso prodotti sulla radiazione solare e sul clima. Esistono grandi incertezze sulla stima del ruolo giocato dagli aerosol atmosferici negli equilibri che determinano il clima globale e la sua evoluzione, e C-Mare è indirizzato a ridurre queste incertezze, almeno per quanto riguarda l'area mediterranea. Per studiare le proprietà e gli effetti del particolato

atmosferico sono state effettuate misure contemporanee da terra, da aereo e da satellite, con l'utilizzo prevalente di strumentazione di telerilevamento attivo e passivo.

MOBILITÀ A IDROGENO

CNR, ENEA ed Università La Sapienza di Roma hanno organizzato l'11 ottobre *H₂ - ROMA 2004*, la terza edizione del convegno sulle prospettive della trazione a idrogeno, con l'opportunità di avere per la prima volta insieme le case automobilistiche BMW, Dalmier-Chrysler, FIAT, GM, PSA e Toyota. È stata l'occasione per presentare, con diversi prototipi, le soluzioni più innovative nell'uso dell'idrogeno per autotrazione e rendere palese l'impegno che ricerca e industria mettono nel percorso di avvicinamento alla mobilità a idrogeno.

L'idrogeno può essere risolutivo per realizzare, anche nel settore dei trasporti, il nuovo modello di sistema energetico che non ha bisogno di combustibili fossili e non produce inquinamento, e la sfida tecnologica intrapresa dalle aziende dell'auto si concretizza in soluzioni avanzate e ampiamente testate, già pronte per una diffusione su larga scala come è stato dimostrato al convegno. Tra i vari progetti, è stato presentato Host (Human oriented sustainable transport), un veicolo per la città del futuro, che non inquina e non dorme mai: ruota su se stesso e trasla orizzontalmente per poter svolgere compiti che oggi sono svolti da diversificate tipologie di veicolo. Al progetto europeo, coordinato da "La Sapienza", partecipano istituti tecnologici di Svezia e Portogallo e varie industrie di autoveicoli europee compresa l'italiana Stile Bertone.

INCONTRI

Ricerca è sviluppo

Salvaguardia da elettrosmog



RICERCA È SVILUPPO

Si è svolta il 16 settembre scorso a Roma, organizzato da Confindustria, la "Terza Giornata della Ricerca", un appuntamento fisso di confronto sugli orientamenti e sulle nuove strategie per il rilancio e lo sviluppo della ricerca e dell'innovazione nel nostro Paese. Pasquale Pistorio, Vicepresidente di Confindustria ha illustrato in sei punti-chiave le proposte per rilanciare la ricerca italiana: credito di imposta generalizzato pari al 10% delle spese totali di ricerca e innovazione digitale; eliminazione del costo del personale delle imprese addebitato alla ricerca dall'imponibile dell'IRAP; scelta di un massimo di dieci programmi strategici per il Paese; stimolo per la creazione di start-up innovative attraverso l'e-

senzione dagli oneri sociali per tutti gli addetti alla ricerca per un determinato periodo; miglioramento del sistema pubblico della ricerca, riforma del finanziamento e della *governance* del sistema universitario e realizzazione in tempi brevi della riforma degli Enti pubblici di ricerca; credito d'imposta pari al 50% del totale delle commesse private alle Università ed Enti pubblici di ricerca.

È stato anche presentato uno studio di Confindustria, con il quale si è messa a confronto l'esperienza italiana con quella dei paesi più sviluppati.

Dal confronto è emerso un quadro quanto mai sconcertante per il mondo della ricerca italiana, anche se non sono mancate note positive circa le potenzialità presenti, soprattutto per quanto riguarda le risorse umane, elemento fondamentale per un rilancio futuro.

Il Ministro Moratti ha rassicurato che la strategia del Governo si svilupperà attraverso il sostegno alla competitività delle aree produttive esistenti, attraverso la creazione e lo sviluppo di settori high-tech, premiando anche l'eccellenza scientifica, integrando il sistema pubblico della ricerca con quello delle imprese.

Dalla tavola rotonda conclusiva, è emersa una consapevolezza comune sull'importanza strategica della ricerca per lo sviluppo del paese e per consentire allo stesso di poter competere come sistema, affrontando le sfide della globalizzazione e della società della conoscenza. (Marco Franza)

SALVAGUARDIA DA ELETTROSMOG

Sviluppo nella sicurezza: è stato questo l'obiettivo del Programma di ricerca triennale coordinato

da CNR ed ENEA e finanziato dal MIUR per la salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche, i cui risultati, alla fine del triennio sono stati illustrati a Roma dal 25 al 27 ottobre. Il crescente sviluppo di sistemi elettrici, elettronici e di telecomunicazioni (in particolare i cellulari), che generano campi elettromagnetici, deve tenere conto dei risultati delle ricerche per limitarne l'inquinamento. In questa prospettiva CNR ed ENEA hanno progettato sistemi, realizzati strumentazioni per il controllo e monitoraggio dell'inquinamento, studiato tecniche di protezione realizzate con nuovi dispositivi e messo a punto codici di calcolo in grado di stabilire l'efficacia della protezione, di ottimizzare l'installazione di nuove stazioni, di calcolare le distanze (a norma di legge) di antenne e tralicci dai luoghi sensibili. Tutti parametri indispensabili per gli operatori locali (Comuni e Province) che attualmente devono rilasciare le autorizzazioni.

I risultati della ricerca mostrano che si è in linea con le raccomandazioni degli organismi internazionali (OMS e Commissione Europea), invitano a ridimensionare eccessivi allarmismi, ad armonizzare tra loro le normative e a continuare ad operare per ottenere la riduzione delle esposizioni. Riguardo all'analisi del rischio, le ricerche condotte hanno per ora confermato che esso è di bassa consistenza, ai livelli previsti dalle raccomandazioni internazionali e dalla più restrittiva normativa italiana.

Sarà, ora, di notevole importanza fornire una corretta informazione sui progressi delle ricerche sviluppate in questo campo, non solo in Italia ma anche in altri Paesi.

I risultati sono disponibili su Internet, all'indirizzo: <http://www.em-protect.enea.it>

LETTURE

**Geologia ambientale:
principi e metodi**

**Living Planet Report
2004**

**Le nuove fonti di
energia rinnovabile**

**GEOLOGIA AMBIENTALE:
PRINCIPI E METODI**

Giuseppe Gisotti
e Francesco Zarlinga
Dario Flaccovio Editore,
Palermo 2004,
pagine 735, euro 48,00

La geologia ambientale consiste nell'applicazione delle informazioni geologiche alla conoscenza e alla soluzione dei problemi ambientali, derivati dall'influenza sia dell'uomo sull'ambiente (come inquinamento e vari dissesti idrogeologici) sia dell'ambiente sull'uomo (come terremoti ed eruzioni vulcaniche).

Il volume si prefigge di unire al rigore scientifico della

trattazione teorica la capacità di affrontare in modo pratico le diverse problematiche, con esempi concreti di applicazione delle metodologie di volta in volta proposte. La trattazione viene affrontata in sei differenti capitoli, per consentire una analisi equilibrata e sistematica delle singole problematiche.

Il volume, dopo aver introdotto i concetti di base sulla geologia, lo sviluppo sostenibile applicato alle georisorse e il principio di precauzione, illustra la situazione delle risorse geologiche, idriche, energetiche, minerarie, del suolo, del paesaggio geologico (geositi) e dello spazio sotterraneo. Si passa a descrivere l'uomo come agente geologico, cioè l'impatto dello sviluppo sull'ambiente geologico.

Ma si esaminano anche lo scarico dei rifiuti e le modifiche dell'uso del suolo; il confinamento geologico dei rifiuti e della CO₂ e le attività agricole e industriali. E quindi i loro effetti, la degradazione del suolo e la desertificazione, le modifiche della dinamica fluviale. Vengono poi messe in evidenza la valutazione e i rischi geologici, l'analisi e la gestione del rischio.

Infine, viene illustrato il ruolo delle scienze della terra nella pianificazione territoriale, e viene posto l'accento sull'importanza dell'educazione, dell'informazione e della formazione geo-ambientale.

Lo scopo è quello dell'ottimizzazione dell'uso delle risorse, del controllo dei pericoli naturali e di quelli indotti dall'uomo; ma anche

la gestione del conflitto di interessi, la pianificazione del riuso, la creazione del consenso.

**LIVING PLANET REPORT
2004**

WWF International
Svizzera, ottobre 2004,
pagine 42
www.panda.org

Questo rapporto intende misurare la pressione umana sulla Terra e il modo in cui tale pressione viene distribuita tra nazioni e regioni al fine di riconoscere i limiti ecologici della biosfera, e poter affermare di essere sostenibili o no.

Pubblicato ogni due anni, in collaborazione anche con il Programma Ambiente delle Nazioni Unite e il Global Footprint Network, si basa su due indicatori: il *Living Planet Index* (l'indice del pianeta vivente) e l'*Ecological Footprint* (l'impronta ecologica) che hanno l'obiettivo di "misurare" l'impatto della presenza umana sulla Terra. L'indice del pianeta vivente valuta lo stato degli ecosistemi naturali, a seconda dell'abbondanza delle specie animali che tali ecosistemi sostengono. Analizza perciò lo status di 555 specie terrestri, 322 di acqua dolce e 267 marine: questo indice è sceso del 40% dal 1970 al 2000.

L'impronta ecologica, invece, confronta il consumo nazionale delle risorse naturali e la capacità biologica della Terra di rigenerarle. Attualmente, è di 2,2 ettari globali pro capite mentre l'area disponibile per supportare

l'attuale popolazione (6,3 miliardi di persone) è di 1,8 ettari di terreno pro capite. Rispetto al 1961 l'impronta ecologica globale è aumentata di due volte e mezza: il Paese con l'impronta ecologica più alta, tra i 150 analizzati, sono gli Emirati Arabi (9,9 ettari pro capite), mentre l'Afghanistan ha la più bassa. L'Italia, con 3,8 ettari a persona ha l'impronta ecologica più bassa tra i paesi dell'Europa occidentale: i più spreconi sono Svezia e Finlandia con 7 ettari pro capite.

Ciò significa - afferma Gianfranco Bologna, del WWF - che dilapidiamo il patrimonio naturale più rapidamente di quanto si possa rigenerare. Stiamo accumulando un debito ecologico che non saremo in grado di saldare a meno che i governi non ripristinino l'equilibrio fra il nostro consumo di risorse naturali e la capacità della Terra di rinnovarle.

Particolarmente allarmante è la nostra impronta energetica: l'utilizzo dei combustibili fossili come carbone, gas e petrolio, responsabili dei cambiamenti climatici, la fa da padrone.

Il rapporto sottolinea come le popolazioni occidentali sfruttino le risorse naturali in maniera insostenibile: l'impronta di un americano medio è doppia di quella di un europeo e ben sette volte quella di un asiatico o di un africano medio.

Secondo il WWF un'alta qualità della vita non è incompatibile con la sostenibilità. Gli esseri umani stanno consumando il 20% in più delle risorse naturali che il nostro Pianeta può produrre, mentre le popolazioni delle specie animali sono diminuite in

media del 40% tra il 1970 e il 2000: del 30% le specie terrestri e marine, del 50% quelle d'acqua dolce. Tutto ciò è la conseguenza diretta della crescente domanda umana di risorse alimentari, di energia e acqua.

In particolare lo sfruttamento delle risorse energetiche è aumentato di circa il 700% tra 1961 e 2001.

LE NUOVE FONTI DI ENERGIA RINNOVABILE Tecnologie, costi e prospettive

Domenico Coiante
F. Angeli, 2004, pagine 541,
euro 30,00

Nel dibattito attuale sui mezzi e sui modi più adatti per contrastare la crisi climatica globale, prende sempre più consistenza il ricorso alle fonti di energia rinnovabile come rimedio efficace e, a lungo termine, risolutivo per la sostituzione dei combustibili fossili nella maggior parte degli usi energetici.

Le fonti energetiche rinnovabili costituiscono, perciò, la sfida del futuro; alle possibilità di un loro utilizzo, economicamente competitivo, sono affidate le speranze di uno sviluppo sostenibile del Sud del mondo e di una riconversione ambientale dei paesi avanzati.

Tuttavia, per raggiungere l'obiettivo di soddisfare i bisogni energetici di larga scala attraverso le forme dirette o derivate dalla fonte solare, occorre ancora risolvere due problemi fondamentali: quello della loro intermittenza temporale e quello della loro scarsa vettoriabilità in settori di consumo diversi da

quello elettrico ma di importanza crescente, come quello dei trasporti.

Questo rapporto, realizzato con il contributo del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, si impegna a fornire un quadro conoscitivo completo sulle fonti rinnovabili: tecnologie e prospettive di sviluppo, potenzialità e densità territoriale, efficienza di conversione e costi di produzione, impatti e bilanci ambientali. Con un ultimo capitolo dedicato all'idrogeno, una opzione che potrebbe risolvere sia il problema dell'accumulo sia quello di un vettore energetico versatile e adattabile a tutti i settori di consumo.

L'autore ha ritenuto necessario premettere alla descrizione delle tecnologie delle fonti rinnovabili (eolico, solare fotovoltaico, solare termoelettrico, solare termico e biomasse) una parte propeudica con lo scopo essenziale di formare nel lettore una base comune di conoscenza (che lui definisce tecnica e, insieme, filosofica) per facilitare l'approccio all'ampiezza della nuova prospettiva strategica delle tecnologie.

Le potenzialità energetiche offerte in generale dalle fonti rinnovabili vengono, così, ad avere la possibilità di dimostrare l'adeguatezza del contributo praticabile per il soddisfacimento del fabbisogno energetico mondiale. Una particolare attenzione sembra essere posta agli aspetti di valutazione economica, per i quali vengono forniti utili strumenti tecnici per seguire le specifiche dimostrazioni.