

ENERGIA, AMBIENTE E INNOVAZIONE

ANNO 51 LUGLIO-AGOSTO 2005

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 agosto 2005

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 Leonardo da Vinci, Studio Embriologico

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 € 21,00; 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

ENEA

www.enea.it

4

PRIMO PIANO

LA PROGRAMMAZIONE ECONOMICO-FINANZIARIA PER GLI ANNI 2006-2009 ECONOMIC-FINANCIAL PLANNING DOCUMENT FOR 2006-2009

Il DPEF di quest'anno è coerente con il Programma di Stabilità; le specifiche azioni per la crescita, che sono parte essenziale della politica economica, saranno finalizzate agli obiettivi comunitari fissati a Lisbona e presentate nel Programma Nazionale per la Crescita e l'Occupazione. Pubblichiamo l'introduzione del documento presentato il 26 luglio scorso

This year's EFPD, presented by the government on July 26th, is consistent with the Stability Programme prepared on the basis of the new Stability and Growth Pact. Specific growth-encouragement actions, which are an essential part of the government's economic policy and are naturally consistent with the lines set out in the EFPD, will be finalised in the context of the Lisbon process and presented in the National Growth and Employment Plan. We publish the introduction

9

IL VII PROGRAMMA QUADRO DI RICERCA UE THE 7TH EU FRAMEWORK RESEARCH PROGRAM

Costruire l'area di ricerca europea di conoscenze per la crescita: con questo obiettivo la Commissione Europea ha elaborato la proposta per il VII Programma Quadro 2007-2013 che dovrà essere discusso e approvato dal Parlamento Europeo

Building the European research and knowledge area for growth: this is the goal of the European Commission's proposal for the 7th Framework Programme 2007-2013. The proposal, designed after extensive consultation with stakeholders, will be submitted to the European Parliament for discussion and approval

15

SPAZIO APERTO

COSA SAPPIAMO DELL'INNOVAZIONE? WHAT DO WE KNOW ABOUT INNOVATION?

Jan Fagerberg

Arrivare ad una comprensione più completa dell'innovazione, come anche delle sue forze motrici e del suo ruolo nel cambiamento economico e sociale, è un compito importante ma al contempo molto impegnativo. Infatti, l'innovazione è, un processo lungo, intrecciato con la diffusione e fondamentalmente influenzata dall'apprendimento intrapreso in divenire

Gaining a more complete understanding of innovation, of the forces that drive it and of its role in economic and social change, is an important and very demanding task. In fact, innovation is a lengthy process, intertwined with deployment and critically influenced by the ongoing learning process

25

STUDI & RICERCHE

NANOTECNOLOGIE, CONVERGENZE TECNOLOGICHE E POSSIBILI APPLICAZIONI BIOMEDICHE

NANOTECHNOLOGIES, CONVERGING TECHNOLOGIES AND POTENTIAL BIOMEDICAL APPLICATIONS

Vincenzo Capuano

La convergenza fra nanotecnologie, biotecnologia e tecnologia della conoscenza potrebbe portare un incremento delle prestazioni della "macchina umana". Al di là di una attenta valutazione degli aspetti etici, tutto ciò potrebbe comportare anche un notevole impatto sull'economia e sulla società

The convergence between nanotechnologies, biotechnology and knowledge technology could lead to improvements in the performance of the "human machine." Though the ethical aspects of these developments must be carefully weighed, they could also have a significant impact on the economy and society

48

MODELLI ANIMALI NELLA RICERCA BIOMEDICA ANIMAL MODELS IN BIOMEDICAL RESEARCH

Simona Leonardi, Mariateresa Mancuso

Lo sviluppo di nuove tecnologie per la manipolazione del genoma murino e le sempre più approfondite conoscenze delle mappe genetiche del topo hanno rivoluzionato la nostra capacità di generare nuovi modelli animali di malattie umane. Questi modelli animali ricapitolano spesso il fenotipo umano e rappresentano una importante risorsa per lo sviluppo di nuove terapie farmacologiche e geniche

The development of new technologies for manipulating the mouse genome and increasingly detailed knowledge of the genetic maps of mice have revolutionized our ability to generate new animal models of human diseases. In most cases, these animal models recapitulate the human phenotype and represent an important resource for the development of new drug and gene therapies

55 TELEFONIA CELLULARE E AEROMOBILI
MOBILE PHONES AND AIRCRAFT

V. Lopresto, R. Pinto, S. Mancini, G.A. Lovisolo

La possibilità di utilizzo dei telefoni cellulari sugli aerei è un'interessante prospettiva commerciale di attualità. L'installazione a bordo dell'aeromobile di una pico-cella dedicata, collegata con un transponder satellitare esterno, eliminerebbe il rischio di possibili interferenze con la strumentazione di bordo, oltre a ridurre significativamente i livelli di esposizione dei passeggeri

The possibility of using cell phones aboard aircraft is an interesting business angle for airlines and for wireless network operators. Installing a dedicated pico-cell (linked to an external satellite transponder) on board a plane or helicopter would eliminate the risk of interference with the flight instruments. Passengers and crew would thus be able to use their cell phones while in the air, and their exposure to electromagnetic fields would be significantly lower than the statutory limits

65 I DEPURATORI DOMESTICI DELL'ACQUA POTABILE
HOME DRINKING-WATER PURIFIERS

Massimo Pizzichini, Alfonso Pozio, Claudio Russo

Il problema di migliorare la qualità dell'acqua di rete, servendosi di piccoli depuratori domestici, è sempre più attuale. Ma è necessario vigilare al fine di garantire l'utente sulla efficacia e affidabilità dei potabilizzatori: ciò implica anche la definizione di un quadro normativo chiaro

The problem of improving the quality of municipal drinking water with small home purifiers is more and more topical, but users must be assured that the devices are effective and reliable. This implies, inter alia, defining a clear regulatory framework

81 CRONACA DI UN INIZIO CON Istantanea SUL FUTURO
CHRONICLE OF A BEGINNING WITH SHAPSHOT OF THE FUTURE

Fausto Borrelli

SCIENZA, TECNICA, STORIA & SOCIETÀ

La lettura di una straordinaria cronaca dell'inizio dell'era atomica, ci permette di commemorare il sessantesimo anniversario di quel collaudo segreto effettuato il 16 luglio del 1945 in un vecchio "ranch" nel deserto del New Messico seguito, venti giorni dopo, dall'olocausto di Hiroshima e Nagasaki.

Dopo un intermezzo con Butterfly e Munch, segue un'istantanea sul futuro in cui Craig Venter – primo sequenziatore del genoma umano – preannuncia un prossimo ingresso nell'era dei mattoni genetici

The reading of an extraordinary chronicle of the beginning of the atomic age enables us to commemorate the sixtieth anniversary of the secret test made on July 16, 1945 on an old ranch in the New Mexico desert, followed twenty days later by the bombing of Hiroshima. After an intermezzo with Butterfly and Munch, we're treated to a snapshot of the future, where Craig Venter, first sequencer of the human genome, announces our upcoming entry into the era of genetic building blocks

89 NUOVI SVILUPPI NELLA CELLA FOTOVOLTAICA ENEA A CONCENTRAZIONE
NEW DEVELOPMENTS OF ENEA'S PHOTOVOLTAIC CONCENTRATOR CELL

Angelo Sarno

NOTE TECNICHE

90

CRONACHE

- dal Mondo
 - Primo progetto eolico in Pakistan **90**
 - Alla Francia il sito di ITER **90**
 - Impianto solare ad alta efficienza **90**
- dall'Unione Europea
 - Progetto in rete di bioinformatica **91**
 - Regole tecniche per l'accesso all'informatica **91**
 - Network europeo di ricerca sulla catalisi **91**
- dall'Italia
 - L'Italia investe nel solare fotovoltaico **92**
 - Varato il piano triennale del CNR **92**
 - Nuova particella dall'esperimento BaBar **92**
- dall'ENEA
 - Il commissariamento dell'ENEA **93**
 - Il tessile a carattere tecnico **93**
 - Dispositivi innovativi per il petrolchimico **93**
 - Agrobiopolis: un polo scientifico per il Mezzogiorno **94**
 - Collaborazione ENEA-Centro Ricerche Gomma della Malaysia **94**
- Incontri
 - La ricerca in Italia **95**
 - XLV convegno ERSA **95**
 - Conferenza europea sulle biomasse **95**
- Lettere
 - Nuclear energy data OECD **96**
 - Ambiente Condiviso **96**

La programmazione economico-finanziaria per gli anni 2006-2009

primo piano

Il DPEF di quest'anno è coerente con il Programma di Stabilità; le specifiche azioni per la crescita, che sono parte essenziale della politica economica, saranno finalizzate agli obiettivi comunitari fissati a Lisbona e presentate nel Programma Nazionale per la Crescita e l'Occupazione. Pubblichiamo l'introduzione del documento presentato il 26 luglio scorso

Economical-Financial Planning Document for 2006-2009

This year's EFPD, presented by the government on July 26th, is consistent with the Stability Programme prepared on the basis of the new Stability and Growth Pact. Specific growth-encouragement actions, which are an essential part of the government's economic policy and are naturally consistent with the lines set out in the EFPD, will be finalised in the context of the Lisbon process and presented in the National Growth and Employment Plan. We publish the introduction

Il Consiglio europeo dei ministri economici e finanziari (Ecofin), il 12 luglio ha approvato la raccomandazione sulla finanza pubblica dell'Italia ai sensi dell'articolo 104 (7) del Trattato, basata su dati passati e prospettici.

Dopo una serie di revisioni nell'applicazione dei criteri contabili Eurostat, il deficit è stato collocato al 3,2 per cento del PIL nel 2001, nel 2003 e nel 2004. In base alle stesse revisioni, il debito si è ridotto dal 110,9 per cento del 2001 al 106,6 per cento del 2004.

Sulla base di queste considerazioni il Consiglio Ecofin ha approvato una raccomandazione che prevede:

- i.) un'applicazione rigorosa della legge finanziaria per il 2005 tale che, assumendo crescita zero, e misure una tantum pari allo 0,4 per cento del PIL, il deficit nominale non superi il 4,3 per cento del PIL e il deficit strutturale al netto delle una tantum continui a migliorare in modo sensibile;
- ii.) l'attuazione delle "necessarie misure di aggiustamento permanenti e al netto delle una tantum che assicurino un aggiustamento cumulato pari almeno all'1,6 per cento nel biennio 2006-7 rispetto al 2005, con metà dell'aggiustamento concentrato nel 2006;
- iii.) una riduzione soddisfacente del rapporto debito-PIL in linea con la correzione del deficit eccessivo, ristabilendo nel medio periodo un livello adeguato di avanzo primario e controllando i "fattori sotto la linea" diversi dal deficit.

La raccomandazione è stata formulata in base al nuovo Patto di Stabilità e Crescita.

Riteniamo la raccomandazione europea equilibrata poiché richiede un sentiero di aggiustamento credibile e strutturale, senza imporre una manovra restrittiva in una fase di rallentamento dell'economia.

Aggiustamenti severi devono invece avvertire nei periodi di alta crescita, contrariamente a quanto avvenuto nel biennio 1999/2001, quando l'indebitamento strutturale al netto delle misure una tantum è salito dal 2,1 per cento al 4,8 per cento del PIL. (Tavola A)

Il programma di politica economica delineato dal DPEF, che presuppone un tasso di crescita medio annuo intorno all'1,5 per cento, consente un aggiustamento di finanza pubblica sufficiente a ridurre l'indebitamento e il rapporto debito/PIL, e a migliorare la sostenibilità della finanza pubblica nel lungo periodo. (Tavola B)

Tavola A - Crescita, Ciclo Economico e Finanza Pubblica 1999 - 2004

	1999	2000 ^a	2001	2002	2003	2004
Indicatori di crescita economica						
PIL reale (variazione percentuale)	1,7	3,0	1,8	0,4	0,3	1,2
PIL potenziale (variazione percentuale)	1,6	1,8	1,7	1,6	1,6	1,5
Deflatore dei consumi	2,2	2,9	2,9	3,1	2,6	2,2
Tasso di disoccupazione	10,9	10,1	9,1	8,6	8,4	8,0
Indicatori di finanza pubblica						
Indebitamento netto della P.A.	-1,7	-1,9	-3,2	-2,7	-3,2	-3,2
Saldo primario	5,0	4,5	3,4	3,0	2,1	1,8
Debito pubblico	115,5	111,3	110,9	108,3	106,8	106,6
Indebitamento netto strutturale	-2,1	-2,8	-4,2	-3,2	-3,0	-2,9
Saldo primario strutturale	4,6	3,6	2,4	2,6	2,3	2,1
Indebitamento strutturale al netto delle misure una tantum	-2,1	-2,8	-4,8	-4,5	-4,9	-4,3
Saldo primario strutturale al netto delle misure una tantum	4,6	3,6	1,8	1,3	0,4	0,7

(a) Al netto dei proventi dell'UMTS (1,2% del PIL).

La velocità dell'aggiustamento dipende però in modo cruciale dal tasso di crescita. A titolo di esempio e di simulazione, se l'economia tornasse a crescere intorno al 2,5 per cento nel medio periodo, come in diversi paesi europei, l'indebitamento rientrerebbe sotto il 3 per cento entro il periodo di previsione, senza bisogno degli interventi aggiuntivi previsti dal presente documento. (Tavola C)

Il problema fondamentale della finanza pubblica è quello della bassa crescita. Per questo motivo la politica economica dei prossimi anni dovrà essere innanzitutto incentrata sulla crescita.

La bassa crescita

L'economia italiana soffre da molti anni di difficoltà strutturali che si riflettono in un tasso di crescita insoddisfacente e sistematicamente inferiore a quello dei principali paesi industriali. La crescita potenziale, superiore al 4 per cento nel 1970, è scesa intorno al 3 per cento all'inizio degli anni ottanta, all'1,5 alla metà degli anni novanta, all'1,3 per cento oggi.

Le cause della lenta crescita reale e potenziale sono identificate nella scarsa dinamica della produttività del settore industriale, nell'insufficiente liberalizzazione nel settore energetico e dei servizi, nella dotazione ancora carente di infrastrutture materiali e immateriali, nel peso eccessivo del debito pubblico.

In questo contesto anomalo, il Governo ha aumentato la spesa per investimenti, dal 3,9 nel 2000 al 4,4 per cento del PIL nel 2004, ha introdotto i presupposti per il controllo della spesa corrente facendola crescere tendenzialmente meno del PIL nominale, ha ridotto le imposte e ha introdotto riforme che favoriranno l'aumento del PIL potenziale e la riduzione del tasso di disoccupazione, che ha raggiunto il 7,9 per cento a fine 2004. Dal 2001 ad oggi gli occupati sono aumentati di circa 1.100.000 unità. Negli ultimi dodici mesi l'aumento è stato di 308.000 addetti, di cui 237.000 a tempo indeterminato.

Ciò conferma il funzionamento della riforma del mercato del lavoro.

Il Governo stima che la ripresa non tarderà. Per il 2006 e il 2007, in linea con la Commissione, si prevede una crescita intorno all'1,56 per cento, lievemente superiore alla crescita potenziale.

Tavola B - Previsioni 2005 e Quadro Programmatico 2006-2009

	2005	2006	2007	2008	2009
Indicatori di crescita economica					
PIL reale (variazione percentuale)	0,0	1,5	1,5	1,7	1,8
PIL potenziale (variazione percentuale)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5
Deflatore dei consumi	2,2	2,1	2,0	2,0	2,1
Tasso di disoccupazione	8,1	8,1	8,0	7,8	7,7
Indicatori di finanza pubblica					
Indebitamento netto della P.A.	-4,3	-3,8	-2,8	-2,1	-1,5
Saldo primario	0,6	0,9	1,8	2,5	3,0
Debito pubblico	108,2	107,4	105,2	103,6	100,9
Indebitamento netto strutturale	-3,4	-3,0	-2,1	-1,6	-1,1
Saldo primario strutturale	1,5	1,7	2,5	3,0	3,4
Indebitamento strutturale al netto delle misure <i>una tantum</i>	-3,8	-3,0	-2,1	-1,6	-1,1
Saldo primario strutturale al netto delle misure <i>una tantum</i>	1,1	1,7	2,5	3,0	3,4

Tavola C - Crescita e Politica Economica

	2006	2007	2008	2009
Scenario DPEF				
PIL reale (variazione percentuale)	1,5	1,5	1,7	1,8
Deflatore del PIL	2,3	2,1	2,0	2,0
Indebitamento netto	-3,8	-2,8	-2,1	-1,5
Saldo primario	0,9	1,8	2,5	3,0
Scenario A: crescita PIL 2,5% + DPEF				
PIL reale (variazione percentuale)	2,5	2,5	2,5	2,5
Deflatore del PIL	2,3	2,1	2,0	2
Indebitamento netto	-3,5	-2,0	-0,9	0,1
Saldo primario	1,2	2,5	3,5	4,4
Scenario B: pura crescita PIL 2,5				
PIL reale (variazione percentuale)	2,5	2,5	2,5	2,5
Deflatore del PIL	2,3	2,1	2,0	2
Indebitamento netto	-4,3	-3,8	-3,3	-2,8
Saldo primario	0,4	0,8	1,3	1,7

Lo scenario A simula gli effetti della maggiore crescita sullo scenario programmatico di finanza pubblica
Lo scenario B ipotizza gli effetti della sola crescita in assenza di interventi programmatici

La politica economica

La ripresa della crescita reale e potenziale è il primo obiettivo per il nostro Paese. Dal 1992, la politica economica si è spesso limitata all'aggiustamento del bilancio pubblico; in questa legislatura sono state introdotte importanti riforme strutturali specialmente nell'area della previdenza e nel mercato del lavoro.

Senza crescita è impossibile realizzare un aggiustamento sufficiente delle finanze pubbliche, e in particolare del rapporto tra debito pubblico e PIL.

Senza crescita è impossibile ribaltare il clima di fiducia che influenza le decisioni di consumo e investimento.

A problemi di crescita si risponde con politiche per la crescita.

Per rilanciare la crescita procederemo su cinque classi di intervento:

1) a livello di Paese potenziamento della domanda e delle infrastrutture, accelerando gli investimenti in opere pubbliche materiali e immateriali nel Mezzogiorno e nelle altre aree del paese dove la dotazione di infrastrutture è più carente;

2) a livello di sistema produttivo maggiore libertà nel mercato dei prodotti e soprattutto nei servizi; migliore e minore regolamentazione; maggiore semplificazione; più concorrenza nel settore energetico; più attrazione di investimenti dall'estero; rafforzamento del mercato dei capitali con l'avvio effettivo dei fondi pensione.

Rientrano in quest'area anche gli interventi a sostegno dell'investimento in capitale umano, dell'innovazione tecnologica, della ricerca e della capacità innovativa delle imprese;

3) riduzione del carico tributario sul prodotto e sul lavoro; recupero di produttività; pochi programmi strategici nei settori più rilevanti per l'innovazione e per lo sviluppo; riduzione delle sacche di illegalità che ancora esistono nel nostro sistema, dal sommerso alla contraffazione.

4) difesa del potere d'acquisto delle famiglie: concludendo i contratti di lavoro, dopo il Protocollo Governo - OO.SS. del 30 maggio 2005; contenendo l'aumento delle tariffe; promuovendo la trasparenza dei prezzi; individuando forme di sostegno selettivo alle famiglie più deboli;

5) nel bilancio pubblico infine, proseguiamo nell'aggiustamento strutturale che guardi al ciclo economico e alla qualità della finanza pubblica, in modo che gli aggiustamenti strutturali previsti possano determinare una stabile convergenza della finanza pubblica verso i valori di riferimento. Le tecniche di controllo della spesa, che hanno dato risultati importanti già nel 2004 (quando la spesa corrente al netto degli interessi per la prima volta dopo diversi anni è cresciuta meno del PIL nominale; 3,6 per cento contro il 3,9 per cento del PIL) vanno raffinate prevedendo interventi per i comparti che hanno superato i valori di riferimento. Il previsto sgravio IRAP sul costo del lavoro andrà coperto strutturalmente. Particolare sforzo andrà assegnato all'obiettivo di ridurre l'incidenza della spesa corrente. L'esperienza internazionale, infatti, dimostra che i disavanzi si riducono in modo duraturo solo riducendo le spese. Se si aumentano solo le entrate, dopo un periodo di apparente risanamento, i disavanzi tornano a crescere. Gli interventi sulle entrate, sulla spesa previdenziale e sulla dinamica delle altre spese correnti realizzati da questo Governo vanno esattamente in questa direzione.

La riforma delle pensioni ha rappresentato un punto di svolta in quanto ha migliorato in modo decisivo la sostenibilità della finanza pubblica nel lungo periodo. Proseguirà il contenimento della spesa corrente a livello centrale e soprattutto locale, permettendo tassi di crescita di queste spese inferiori a quelle del PIL nominale. In campo fiscale servirà allargare le basi imponibili, contrastando sommerso ed evasione fiscale e contributiva ed equilibrando il prelievo; occorrerà destinare il gettito delle dimissioni alla riduzione del debito. Sarà necessario infine generare un aumento graduale del saldo primario, che è la via maestra per la riduzione del debito. Nell'insieme, e sin dove possibile, dati gli equilibri della finanza pubblica, l'aggiustamento deve avvenire con riduzione della spesa corrente, e con recuperi di evasione e di basi imponibili; non con inasprimenti di aliquote fiscali.

Il risanamento strutturale dei conti pubblici contribuirà a migliorare il clima di fiducia, stimolando consumi, investimenti e potrebbe accelerare la crescita oltre quanto previsto nel quadro programmatico. Ciò favorirà l'avvio di un processo virtuoso che apporterà ulteriori benefici al bilancio.

La crescita economica e la sostenibilità della finanza pubblica, in un paese ad alto debito, sono obiettivi primari e intrinsecamente connessi. Per questo i diversi elementi che costituiscono la politica economica sono perti integrate di un tutto. Per questo, come si è detto, è cruciale mirare innanzitutto a una ripresa dello sviluppo. Un disegno semplice e ragionevole. Un disegno che va perseguito nel tempo e che va tradotto in realtà.

*è cruciale
mirare
innanzitutto a
una ripresa
dello sviluppo*

Il VII Programma Quadro di Ricerca UE



primo piano

Costruire l'area di ricerca europea di conoscenze per la crescita: con questo obiettivo la Commissione Europea dopo ampia consultazione ha elaborato la proposta per il VII Programma Quadro 2007-2013 che dovrà essere discusso e approvato dal Parlamento Europeo

The 7th UE Framework Research Program

Building the European research and knowledge area for growth: this is the goal of the European Commission's proposal for the 7th Framework Programme 2007-2013. The proposal, designed after extensive consultation with stakeholders, will be submitted to the European Parliament for discussion and approval

La Commissione Europea, riconoscendo che la conoscenza costituisce la maggiore risorsa dell'Europa, ha adottato in data 6 aprile una proposta per un nuovo Programma Quadro per la Ricerca UE che dovrebbe dare nuova spinta per aumentare la crescita e la competitività dell'Unione. Il programma dà maggiore risalto che in passato a ricerche utili all'industria europea, per sostenerla nella competizione internazionale e valorizzare il suo ruolo di leader mondiale in determinati settori. Inoltre, il programma fornirà un sostegno particolare alla migliore ricerca esplorativa svolta in Europa mediante l'istituzione di un Consiglio Europeo delle Ricerche.

L'intero programma sarà orientato all'eccellenza, indirizzo assolutamente necessario affinché possa svolgere il suo ruolo nel far crescere la competitività globale dell'Europa. Un'altra priorità è di rendere più semplice e facile la partecipazione al programma stesso, mediante provvedimenti relativi alle procedure ed una razionalizzazione degli strumenti. Malgrado la novità di questo approccio, non mancano molti elementi di continuità. In pratica, per la maggior parte dei partecipanti il programma non cambierà ma parteciparvi diventerà più semplice.

*maggiore
risalto a
ricerche utili
all'industria
europea*

La proposta della Commissione

La Commissione ha messo sul tavolo una proposta ambiziosa per il VII Programma Quadro di Ricerca 2007-2013 (PQ7), che dovrà essere poi discussa dagli Stati Membri (nel Consiglio) e dal Parlamento Europeo prima che venga adottata una Decisione definitiva. Sottotitolato "Costruire l'area di ricerca europea di conoscenze per la crescita", il PQ7 è articolato in modo da rispondere alle esigenze di competitività e di occupazione dell'UE. In particolare, la Commissione propone di raddoppiare il budget del PQ7 rispetto a quello del PQ6, arrivando ad un totale di EUR 67,8 miliardi nel periodo 2007-2013.

Secondo la proposta della Commissione, il PQ7 comprenderà quattro programmi specifici, i cui dettagli verranno illustrati in specifiche proposte legislative che verranno presentate nei mesi a venire

1. La cooperazione

Obiettivo: affermare la leadership europea in aree chiave mediante cooperazione fra industria ed istituzioni di ricerca. Il PQ7 fornirà sostegno ad attività di ricerca svolte nell'ambito della cooperazione transnazionale, da reti e progetti collaborativi al coordinamento di programmi di ricerca nazionali.

Il programma di Cooperazione è articolato in sottoprogrammi che saranno autonomi dal punto di vista operativo, e nel contempo dimostreranno coerenza e compatibilità, dando spazio ad approcci congiunti ed intertematici a progetti di ricerca di interesse comune. Sono stati individuati nove temi:

- Salute
- Alimenti, agricoltura e biotecnologia
- Tecnologie informatiche e della comunicazione
- Nanoscienze e nanotecnologie, materiali e nuove tecnologie di produzione
- Energia
- Ambiente (compreso il cambiamento climatico)
- Trasporti (compresa l'aeronautica)
- Scienze socioeconomiche e studi umanistici
- Sicurezza e Spazio

Altri due temi rientrano nel Programma Quadro Euratom:

- Ricerca sull'energia da fusione
- Fissione nucleare e radioprotezione.

2. Le idee

Obiettivo: rafforzare l'eccellenza della nostra base scientifica mediante promozione della concorrenza a livello europeo. Verrà istituito un Consiglio Europeo delle Ricerche, struttura autonoma il cui compito sarà di sostenere "ricerche di frontiera" svolte da gruppi che, operando da soli o in collaborazione, competono a livello europeo in tutti i campi scientifici e tecnologici, fra cui ingegneria, scienze socioeconomiche e studi umanistici.

3. Le persone

Obiettivo: rafforzare le prospettive di carriera e la mobilità dei nostri ricercatori. Le attività tese a sostenere singoli ricercatori – dette "azioni Marie Curie" – verranno rafforzate al fine di valorizzare il potenziale umano della ricerca europea mediante supporto alla formazione, alla mobilità ed allo sviluppo delle carriere dei ricercatori europei.

4. Le capacità

Obiettivo: sviluppare le capacità di ricerca per assicurare che la comunità scientifica europea possa disporre delle migliori possibili. Verranno sostenute attività volte a potenziare le capacità di ricerca e di innovazione in tutta l'Europa – infrastrutture di ricerca e raggruppamenti regionali orientati alla ricerca – stimolando il potenziale di ricerca nelle regioni UE "di convergenza" e favorendo il raggruppamento di attori regionali per sviluppare "regioni di conoscenza", sostenendo ricerche per e da parte delle PMI, prestando attenzione alle questioni riguardanti "la scienza nella società" ed incoraggiando attività "orizzontali" nella cooperazione internazionale

*un
programma
più chiaro e
semplice per i
potenziali
partecipanti*

Le differenze con i precedenti PQ

Nella proposta per il VII Programma Quadro vi è un forte elemento di continuità con il passato. Al centro rimangono i progetti intrapresi da consorzi fra partner europei, ed anche i loro temi rimarranno più o meno gli stessi. Il PQ7 continuerà a sviluppare il concetto di un'Area di Ricerca Europea. I fondi verranno utilizzati per sviluppare ed aumentare quegli elementi dei programmi precedenti che funzionavano bene: le azioni "Marie Curie", quelle delle PMI, i progetti collaborativi, le Reti di Eccellenza. La continuità verrà rafforzata anche prevedendo una durata settennale del programma (e la possibilità di una sua revisione a metà del suo corso). Ma ci sono anche elementi nuovi.

Una caratteristica chiave del PQ7 è la notevole semplificazione del suo funzionamento. In linea con la futura revisione del Regolamento Finanziario, si stanno prendendo in considerazione misure atte a rendere il programma il più chiaro e semplice possibile per i potenziali partecipanti. La Commissione Europea ha istituito un forum consultivo composto di rappresentanti di piccole imprese e gruppi di ricerca: proprio coloro che sembrano incontrare i maggiori ostacoli alla partecipazione al programma. Compito di questo forum è fornire indicazioni circa l'effettiva idoneità delle misure contemplate a semplificare il programma e a produrre l'effetto desiderato.

Concentrandosi più sui temi che sugli strumenti, il programma, oltre che più chiaro e semplice per i partecipanti, sarà più flessibile ed adattabile alle esigenze dell'industria.

Con l'operato delle Piattaforme Tecnologiche e delle nuove "Iniziative Tecnologiche Congiunte" – progetti nei campi di maggiore interesse pubblico europeo su temi individuati mediante il dialogo con l'industria, in particolare nelle Piattaforme Tecnologiche Europee – il programma si focalizzerà più che in passato sullo sviluppo di ricerche che rispondano alle esigenze dell'industria europea.

Il PQ7 istituirà, per la prima volta, un Consiglio Europeo delle Ricerche, al fine di destinare i fondi alla migliore scienza europea, come valutata in "peer review" da scienziati europei. Sarà la prima volta che esisterà a livello europeo un organismo di questo genere, teso a individuare il meglio della ricerca europea, ovunque si trovi e comunque venga svolta. La cooperazione internazionale non sarà più semplicemente una delle varie attività previste dal PQ.

Sarà invece integrata in tutti e quattro i programmi, in modo che i progetti possano essere svolti con partner internazionali. Alla stessa stregua, l'attività "Scienza nella società" avrà compiti propri, ma tutte le parti del programma dovranno tener conto dell'obiettivo di allacciare la scienza più strettamente alle esigenze ed ai desideri della società europea.

Altro elemento nuovo è costituito dallo sviluppo di "regioni della conoscenza", che unirà i partner che operano in una data regione (università, centri di ricerca, imprese, autorità regionali) al fine di potenziare la loro capacità di ricerca.

Il PQ7 includerà inoltre una "Struttura per Finanziamenti a Rischio Condiviso" che, migliorando l'accesso ai prestiti concessi dalla Banca Europea d'Investimento (BEI) per rilevanti attività europee di ricerca, incoraggerà gli investimenti privati nella ricerca. Questo meccanismo consentirà maggiori prestiti da parte della BEI alle azioni di R&S.

istituito, per la prima volta, un Consiglio Europeo delle Ricerche

L'elaborazione del Programma

La nuova proposta è basata su un processo di consultazione con le parti interessate, durato un anno. Gli elementi principali della proposta vengono discussi da tempo ed è improbabile che presentino sorprese. L'approccio suggerito dalla Commissione nella sua comunicazione del giugno 2004, che costituisce la base di questa proposta, è fortemente caldeggiato dalla comunità scientifica.

Nel febbraio di quest'anno, un comitato di esperti guidato dal dr. Erkki Ormala, Vicepresidente per la Tecnologia presso la Nokia, ha presentato la propria relazione di valutazione sui precedenti 5 anni dei Programmi Europei di Ricerca e Sviluppo. Secondo il comitato, questi programmi hanno effettivamente contribuito in modo rilevante allo sviluppo della base europea di conoscenze ed hanno influito positivamente sul potenziale innovativo dell'Europa. Tuttavia, il comitato ritiene che, per assicurare la continuazione di questo effetto positivo, sia necessario dedicarvi ulteriori risorse. Raccomanda inoltre una maggiore partecipazione da parte dell'industria (soprattutto delle PMI), un'amministrazione più snella e semplificata, e maggiore attenzione all'innovazione radicale ed all'assunzione dei rischi.

La Commissione ha anche tenuto numerosi incontri a livello politico o tecnico con gruppi di scienziati, organizzazioni scientifiche ed altre organizzazioni-ombrello per discutere le sue idee per il nuovo programma e per coinvolgere il più possibile le opinioni della comunità estesa. Il Parlamento ed il Consiglio Europeo hanno già comunicato le loro risposte al documento sulle politiche del giugno 2004: risposte che sono state estremamente utili alla Commissione nel formulare questa proposta

Le maggiori risorse disponibili

Anche con il proposto aumento dei fondi, il budget europeo per la ricerca rappresenterà meno del 10% della spesa pubblica complessiva per la ricerca e lo sviluppo nell'Unione Europea, a meno che gli Stati membri seguano l'orientamento dell'UE e rispettino il loro impegno a dedicare più risorse nazionali alla R&S.

Svariati motivi hanno indotto la Commissione a proporre l'aumento delle risorse per il budget:

- La struttura del budget dell'UE dovrebbe riflettere le priorità politiche dell'UE. Ciò significa incrementare i fondi disponibili per misure a sostegno della crescita e dell'occupazione, comprese quelle relative alla ricerca.
- Spendere per la ricerca al livello UE ha un effetto moltiplicatore su altre fonti di finanziamento pubbliche e private. Pertanto, un programma europeo da EUR 70 miliardi, sebbene rappresenti solo una piccola frazione del totale necessario (circa 0,1% del PIL europeo, mentre l'obiettivo è investire il 3%), contribuirà comunque ad incoraggiare una maggiore spesa complessiva. Ciascun euro di denaro europeo investito in ricerca richiama un ulteriore euro di investimento privato.
- Il contesto politico, economico e scientifico richiede lo sviluppo di azioni nuove che per realizzare i propri obiettivi devono essere dotate di fondi sufficienti.
- Al presente, numerosi progetti di alta qualità devono essere respinti per mancanza di fondi disponibili. Un aumento delle risorse al livello europeo darebbe un'ulteriore spinta a tutta una gamma di attività scientifiche rimaste finora neglette a livello europeo.

L'attuazione e l'amministrazione del PQ7 saranno di competenza della Commissione Europea. Esistono forti motivi per mantenere la Commissione coinvolta nella gestione di programmi di ricerca, fra cui il suo successo nell'eseguire notevoli aumenti del budget nei precedenti Programmi Quadro, la sua esperienza unica e la sua conoscenza complessiva dello scenario europeo della ricerca, la fiducia posta dagli Stati membri in questo sistema, e l'utilissimo *feedback* che fornisce per la formulazione della politica europea sulla ricerca. Tuttavia, la proposta per il PQ7 prevede alcune modifiche.

Poiché la Commissione dovrà gestire un budget R&S raddoppiato senza un aumento del suo personale, propone che tutti i compiti logistici ed amministrativi (cioè, quelli non relativi alle politiche) vengano svolti al di fuori dei propri servizi. Di conseguenza, alcune delle attività attualmente svolte dalla Commissione verranno trasferite a strutture esterne operanti sotto la responsabilità della Commissione, in particolare quei compiti che generano un gran numero di operazioni piccole senza fornire un *feedback* significativo per la definizione dei programmi e delle politiche. Anche le attività del Consiglio Europeo delle Ricerche faranno parte di una struttura esterna, operando autonomamente sotto la direzione di un consesso di scienziati eminenti.

L'importanza della ricerca europea

La conoscenza è la migliore risorsa dell'Europa. Investire nella conoscenza è per l'UE certamente il modo migliore – forse anche il solo – di promuovere la crescita economica e creare ulteriori e migliori posti di lavoro, e nel contempo assicurare il progresso sociale e la sostenibilità ambientale.

Promuovere la prosperità e la solidarietà, riavvicinare l'UE ai propri cittadini, e rendere l'Unione un partner globale forte costituiscono obiettivi prioritari dell'UE.

La politica europea della ricerca, e la proposta per il nuovo Programma Quadro che con-

la
conoscenza
è la migliore
risorsa
dell'Europa

tribuirà ad attuarla, svolgono un ruolo importante nel conseguimento di questi obiettivi. La ricerca è al centro del piano dell'UE per stimolare la crescita e l'occupazione; unitamente all'istruzione ed all'innovazione, è un componente chiave del cosiddetto "Triangolo della Conoscenza". L'Europa deve aumentare il suo impegno per la ricerca fino al 3% del PIL europeo, e sfruttare meglio le sue capacità in questo campo, trasformando risultati scientifici in nuovi prodotti, processi e servizi, nell'ambito degli sforzi effettuati per realizzare l'obiettivo di diventare "l'economia knowledge-based più dinamica e competitiva del mondo".

Investimenti a livello europeo, anche se rimangono una piccola frazione del totale necessario per raggiungere l'obiettivo del 3%, possono produrre un effetto notevole. Ad esempio, l'individuazione di infrastrutture chiave a livello europeo, l'incoraggiamento di collaborazioni fra i settori pubblico e privato per individuare le esigenze di ricerca, ed il coordinamento delle politiche nazionali sulla ricerca in date aree sono tutte azioni atte a migliorare l'efficienza complessiva della spesa sulla ricerca, sia essa pubblica o privata. Aumentando il proprio investimento nella ricerca, l'UE darà agli Stati membri ed agli investitori privati un esempio chiaro. Gli investimenti nella ricerca a livello europeo verranno spesi in campi che massimizzano l'effetto moltiplicatore su altri tipi di investimento.

Come verranno spesi i fondi

La seguente tabella mostra la suddivisione proposta dalla Commissione programma per programma.

VII Programma Quadro dell'Unione Europea 2007-2013 – Quote e suddivisione indicative Importo massimo complessivo (in milioni di EUR a prezzi costanti 2004)

Programmi	Temi	Quote	Totali
COOPERAZIONE	Sanità	7.350	
	Biotech, alimentazione e agricoltura	2.170	
	Società dell'informazione	11.197	
	Nanotech, materiali, produzione	4.270	
	Energia	2.590	
	Ambiente	2.240	
	Trasporti	5.250	
	Ricerca socio-economica Spazio e sicurezza	700 3.500	39.267
IDEE	Consiglio Europeo delle Ricerche		10.483
PERSONE	Azioni "Marie Curie"		6.300
CAPACITA'	Infrastrutture di ricerca	3.500	
	Ricerche per le PMI	1.680	
	Regioni di conoscenza	140	
	Potenziale di ricerca	490	
	Scienza nella Società	490	
	Cooperazione internazionale	315	6.615
	JRC	Joint Research Centre	
TOTALE UE			64.282
EURATOM (2001-2011) [1]			2.800

[1] Il VII Programma Quadro della Comunità Europea per l'Energia Atomica (Euratom) per la ricerca e la formazione nel nucleare (2007-2011), include la ricerca sull'energia da fusione, la fissione nucleare e la radioprotezione, nonché le Attività Nucleari del JRC. Lo stanziamento totale è EUR 2.800 milioni per i 5 anni dei quali 490 milioni destinati al JRC. Lo stanziamento previsto per l'EURATOM per il biennio 2012-2013 è EUR 1.393 milioni (prezzi costanti al 2004).

Cosa sappiamo dell'innovazione?

JAN FAGERBERG
Centro per la Tecnologia,
l'Innovazione e la Cultura,
Università di Oslo

spazio aperto

Arrivare ad una comprensione più completa dell'innovazione, come anche delle sue forze motrici e del suo ruolo nel cambiamento economico e sociale, è un compito importante ma al contempo molto impegnativo. Infatti, l'innovazione è un processo lungo, intrecciato con la diffusione e fondamentale influenzata dall'apprendimento intrapreso in divenire

What do we know about innovation?

Gaining a more complete understanding of innovation, of the forces that drive it and of its role in economic and social change, is an important and very demanding task. In fact, innovation is a lengthy process, intertwined with deployment and critically influenced by the ongoing learning process

Un'agenda emergente: dal "modello lineare" ai sistemi d'innovazione ed oltre...

*l'innovazione
si occupa di
mettere in
pratica nuove
idee*

Nel corso degli ultimi due decenni l'innovazione è diventata un punto focale di grande importanza per i decisori politici, e ciò a causa del ruolo centrale che si presume l'innovazione ricopra per quanto riguarda la crescita del reddito e dell'occupazione (e della qualità di vita più in generale). È sempre più evidente che scienza e R&S di alta qualità da sole non bastano per realizzare obiettivi sociali importanti. Per quanto importante possa essere (con conseguenze potenzialmente di grande portata), una idea nuova non avrà un grande impatto economico e sociale se non viene messa in pratica. È proprio questo di cui si occupa l'innovazione: di mettere nuove idee in pratica. Ed è per questo che è così importante.

Questo passo apparentemente logico, cioè mettere nuove idee in pratica, fu a lungo considerato poco rilevante. L'attenzione dei decisori politici e degli studiosi era soprattutto rivolta al processo che precede il primo tentativo di commercializzazione di una nuova idea, ad es., sulla scienza e sulla ricerca (nell'ambito di grandi organizzazioni pubbliche o private). Si presupponeva che, se gli investimenti nella scienza e nella R&S venivano mantenuti ad un livello elevato, avrebbero per forza prodotto benefici sociali ed economici. Questo concetto – noto poi come "il modello lineare dell'innovazione" (Kline e Rosenberg, 1986) – è stata tipicamente usato per legittimare grandi investimenti pubblici in scienza e R&S, e continua ad essere un punto di vista influente, soprattutto fra decisori politici. Ad esempio, questo tipo di ragionamento si accorda bene con la politica recentemente annunciata dall'UE di aumentare i propri stanziamenti per la R&S al 3% del PIL.

Tuttavia, anche se fossero ben pochi a negare che scienza e R&S svolgano ruoli importanti nel cambiamento economico e sociale a lungo termine, la natura esatta di queste correlazioni è stata oggetto di notevoli controversie, in parte a causa dei problemi inerenti l'individuazione empirica delle correlazioni fra investimenti in scienza e R&S e i supposti benefici economici. Il premio Nobel Robert Solow rese famoso il cosiddetto "paradosso della produttività" con la battuta: "vediamo R&S dappertutto tranne che nelle statistiche sulla produttività".

Un'altra fonte di nuovi interrogativi sull'innovazione consiste nell'articolato *corpus* di ricerche empiriche sui processi d'innovazione nelle aziende. Sebbene una parte risalga a molto tempo fa, in anni più recenti l'impegno della ricerca in questo campo è stato particolarmente intenso, soprattutto in Europa (il Community Innovation Survey – CIS – ovvero il censimento dell'innovazione nella Comunità Europea). La figura 1 mostra le risposte ottenute da un campione rappresentativo di aziende europee alla richiesta di indicare le loro fonti di innovazione più importanti. Come evidenziato dal grafico, dal punto di vista aziendale, la fonte d'innovazione più importante è rappresentata dall'interazione con gli utenti, seguita dai contatti con fornitori e concorrenti, mentre i contatti con le infrastrutture di R&S pubbliche (università ed istituti di ricerca, indicati nel grafico con la voce "scienza") sono considerati meno importanti.

Queste valutazioni erano notevolmente simili nelle diverse industrie. Infatti, il panorama delle risposte ("alta" "media" e "bassa" importanza) delle aziende varia in misura relativamente modesta fra un tipo di industria e l'altra. Solo in un tipo di industria, quella chimica, più di una su venti aziende innovative considerava università ed istituti di ricerca molto importanti per l'innovazione, ed anche qui il numero di aziende innovative che condividevano questa opinione ammontava comunque a meno di un decimo.

Con ciò non si vuol dire che le università non abbiano un ruolo importante da svo-

Importanza delle diverse fonti di innovazione: come la pensano le aziende europee

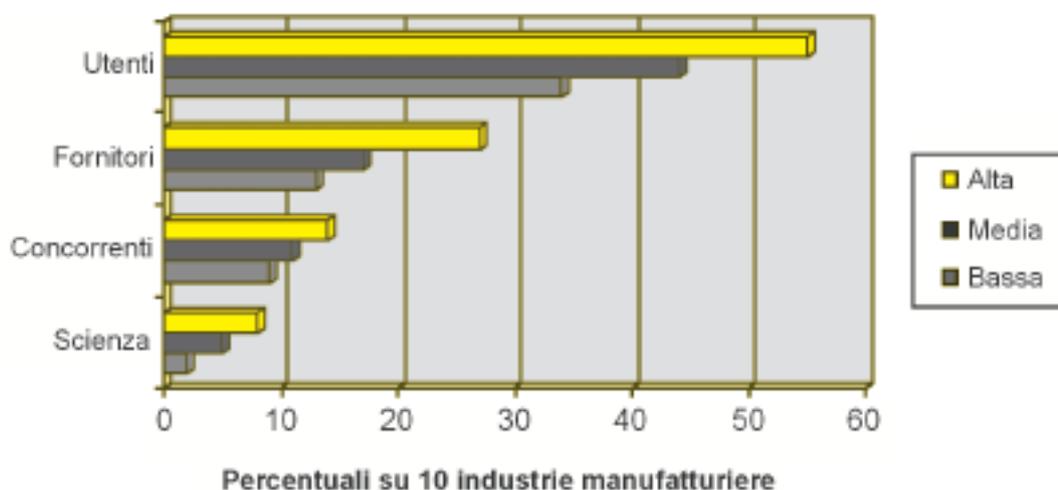


Figura 1
Aziende che considerano vari attori nel sistema innovativo come fonti "molto importanti" per l'innovazione, espresse come percentuale del numero totale di aziende innovative. Il censimento (CIS2) venne effettuato nel 1994-1996 in dieci paesi europei (Austria, Belgio, Francia, Germania, Italia, Norvegia, Paesi Bassi, Portogallo, Spagna e Re-Unito) ed ha riguardato dieci industrie manifatturiere. Fonte: database New Cronos dell'Eurostat

gere in un'economia basata sulla conoscenza, ma che, secondo le aziende, gli impatti più importanti sono di natura indiretta, come la disponibilità di personale altamente istruito e qualificato. Bisogna ammettere che questi risultati possono sembrare in contrasto con l'aspettativa, attualmente molto diffusa fra gli amministratori universitari, che le università potrebbero assicurarsi, grazie ai diritti di proprietà intellettuale (DPI), considerevoli introiti futuri con un loro coinvolgimento diretto in attività d'innovazione. Tuttavia, i dati raccolti negli USA (che sono stati gli apripista di questa prassi) indicano che, per la maggior parte delle università che hanno seguito questa strada, l'aver istituito un sistema di DPI si è in realtà rivelato una pura perdita finanziaria (Mowery, 2004). Sembra infatti assai probabile che gli effetti negativi di forme più restrittive di condivisione delle conoscenze – effetti che ovviamente vengono generati dalla maggiore enfasi posta sul trarre profitto dai DPI – possano in realtà pesare sulla società nel suo insieme assai più di qualsiasi effetto positivo che tale prassi potrebbe avere sulle università o sul personale coinvolto.

La constatazione che l'innovazione dipende dalla condivisione delle conoscenze e dall'interazione fra vari tipi di attori (molti dei quali esterni all'azienda) portò negli anni 90 alla formulazione di un nuovo approccio ("sistemi di innovazione") che tenta esplicitamente di tenere più conto del carattere sistemico (o ricorrente) di tali interazioni. Questo approccio sistemico, nelle sue varie versioni, è oggi in voga presso i decisori politici e gli analisti, grazie fra l'altro alla flessibilità della sua struttura (e quindi alla facilità con cui può essere adattato a varie situazioni/problematiche) ed al fatto che offre una comoda cornice per accumulare conoscenze circa le correlazioni esistenti fra infrastrutture di R&S pubbliche, iniziative e meccanismi di supporto pubblici e comportamento aziendale. A ciò è stato però ribattuto che, forse proprio a causa di questa flessibilità, l'approccio manca di precisione quando si tratta di fare dichiarazioni in merito alla causalità o di offrire consigli su molte delle scelte che i decisori politici si trovano a dover affrontare (Edquist, 2004). Secondo questo punto di vista, pertanto, urge rendere meno elastico l'approccio detto "dei sistemi d'innovazione".

Come andare avanti?

Arrivare ad una comprensione più completa dell'innovazione, come anche delle sue forze motrici e del suo ruolo nel cambiamento economico e sociale, è un compito importante ma al contempo molto impegnativo. Un presupposto importante alla base del progetto TEARI (Towards a European Area of Research and Innovation) è stato che partire da questa o quella teoria od approccio e cercare di perfezionarla potrebbe non essere la via più migliore verso una comprensione più completa. Il principio guida del progetto, condotto dall'Università di Oslo e di Oxford, è stata invece che il ricercatore dovesse prendere familiarità con diversi approcci – e fonti di prova – e su questa base esplorare ulteriormente l'argomento insieme a ricercatori provenienti da campi diversi dal suo. Il ragionamento alla base di questo modo di operare era che le teorie e gli approcci oggi ampiamente accettati sull'argomento ignorano alcuni aspetti della realtà che potrebbero essere invece molto importanti per la comprensione della materia in esame.

*promuovere
la ricerca
inter-
disciplinare*

Dalle discussioni svolte nell'ambito del progetto emerse chiaramente che sia l'approccio del "modello lineare" sia quello del "sistema di innovazione" funzionano entrambi ad un livello più o meno complessivo (nazionale, regionale, settoriale ecc.). Tuttavia, l'innovazione è una cosa che avviene soprattutto nelle singole aziende (seppur in stretta interazione con fonti esterne). Di conseguenza, per comprendere la dinamica dell'innovazione non basta concentrare l'attenzione sull'interazione con partner esterni, sulle risorse disponibili, sull'output d'innovazione ecc., ma occorre anche tener conto di ciò che avviene all'interno delle aziende stesse: come arrivano alle loro scelte strategiche, quanto riescono a trarre vantaggio da nuove idee ("apertura"), cosa fanno per incoraggiare lo sviluppo di nuove idee, e così via. Queste sono problematiche importanti per l'innovazione ma che normalmente non vengono studiate sotto la voce (ad esempio) "sistemi d'innovazione" (anche se forse vi rientrerebbero) ma piuttosto sotto quelle denominate "strategia", "gestione" o "studi economici".

Un'importante insegnamento risultato dal progetto è dunque che bisogna assolutamente trascendere alcuni degli attuali confini disciplinari ed organizzativi che spezzettano il campo di ricerca ed impediscono agli studiosi (che in larga misura si stanno occupando dello stesso fenomeno) di interagire fra loro in maniera significativa. Questo potrebbe non essere così facile come sembra, perché l'insularità delle discipline e specializzazioni esistenti tende a rafforzarsi nel tempo attraverso la creazione di teorie, concetti, modalità di comunicazione ed esposizione specialistiche, che non sono pienamente (o facilmente) comprensibili ai non addetti ai lavori. Pertanto, l'interdisciplinarietà (in questo come in altri campi) non si instaura necessariamente da sola, ma ha bisogno di incentivi molto forti per prosperare. Così, per giungere ad una comprensione più completa dell'innovazione, opzioni politiche incluse, è fondamentale che vengano messi in opera degli accorgimenti che promuovano la ricerca interdisciplinare, non solo fra le scienze sociali, ma anche fra università e facoltà di economia.

Alcuni insegnamenti chiave

È impossibile dare il giusto rilievo a tutti gli insegnamenti tratti da questo progetto, e consigliamo al lettore di consultare le fonti originali per una presentazione più ampia.

Ciò premesso, un primo insegnamento chiave che possiamo trarre dalla moderna ricerca sull'innovazione è che l'innovazione è un fenomeno di vasta estensione. Ci sono diversi tipi di innovazione, e contano tutti: non soltanto le innovazioni tecnologiche dei prodotti e dei processi, anche se è a questi che la gente spesso presta più attenzione, ma anche quelle organizzative. In realtà, nel corso della storia molte delle innovazioni più importanti sono state di tipo organizzativo, come ad esempio il nuovo sistema di distribuzione che un secolo fa accompagnò lo sviluppo della produzione in serie negli Stati Uniti, oppure il modo in cui la Toyota ed altre società giapponesi riorganizzarono l'intera catena di valore nell'industria automobilistica nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale (Bruland e Mowery, 2004; Fagerberg e Godinho, 2004; Lam, 2004). Sebbene alcune innovazioni organizzative siano sopravvenute sulla scia di grandi progressi tecnologici, e si siano dimostrate d'importanza critica per il loro sfruttamento commerciale, può accadere che sia proprio un'innovazione organizzativa di per sé a dare un notevole impulso alla crescita (come dimostrerebbe l'esperienza dell'industria automobilistica giapponese).

Secondo insegnamento: l'innovazione è pervasiva. Non è limitata a certe cosiddette industrie *high-tech* ma prospera anche in altre industrie, per non parlare del terziario (von Tunzelmann e Acha, 2004; Miles, 2004), anche se i fattori che contano per l'innovazione (e di conseguenza per le opzioni politiche disponibili) possono variare un po' da un settore all'altro (Malerba, 2004). Alcune innovazioni costituiscono progressi tecnologici spettacolari, ma non per questo sono necessariamente sempre quelle più importanti dal punto di vista economico o sociale. Infatti, il grosso delle innovazioni nelle società moderne consiste di migliorie relativamente piccole, e non sarebbe azzardato affermare che il loro impatto cumulativo è altrettanto grande (se non maggiore) di quello prodotto dalle innovazioni più "radicali" o più "rivoluzionarie". Inoltre, diversi tipi di innovazione sono correlate fra loro. I grandi progressi tecnologici solitamente aprono opportunità per tutta una gamma di innovazioni (senza le quali tali progressi potrebbero in realtà rivelarsi di poca importanza economica).

Terzo, l'innovazione è un processo lungo, intrecciato con la diffusione e fondamentalmente influenzata dall'apprendimento intrapreso mediante il processo stesso. Gran parte di ciò che oggi consideriamo innovazioni (ad es., l'automobile od il computer) sono in realtà il risultato di lunghi processi storici di graduale miglioramento, e dell'assorbimento di una lunga serie di innovazioni.

Dunque, tutto ciò si riduce al fatto che una fetta dell'immaginario popolare che circonda il fenomeno dell'innovazione (che ad esempio presta attenzione alla costruzione di dispositivi ad altissima tecnologia, basati su grandi scoperte scientifiche ottenute in grandi laboratori con l'aiuto di attrezzature molto avanzate e costose) ha una visione un po' parziale della realtà. Anche se alcune innovazioni sono di questo genere, molte invece non lo sono, incluse molte di quelle che hanno un'importanza economica. Come abbiamo già detto, oggi abbiamo dati relativamente abbondanti da svariati paesi, basati su censimenti delle attività d'innovazione aziendali (vedi Smith, 2004), che mostrano regolarmente che quel che più importa per un'innovazione riuscita non sono tanto i suoi legami con la scienza di base, con i grandi laboratori pubblici o le università, e neanche con i diritti di proprietà intellettuale, bensì la stretta interazione con gli utenti (il lato della domanda), i fornitori e la concorrenza (Granstrand, 2004).

Questi insegnamenti, e le informazioni a sostegno provenienti dai vari studi intrapresi nell'ambito del progetto, potrebbero far sorgere interrogativi importanti per le poli-

*l'innovazione
è pervasiva*

analizzare complessivamente il sistema di innovazione del paese

tiche. In molti casi il discorso sulle politiche da adottare tende a concentrarsi troppo sulle risorse disponibili per l'innovazione (ad es., R&S), piuttosto che sull'innovazione in quanto tale che dovrebbe se non altro essere l'oggetto principale delle politiche. Per esempio, un ben noto cruccio dei decisori politici è che si investe troppo poco in R& rispetto ad altri paesi. Ma tali confronti tendono a dimenticare che, poiché le intensità di R&S variano molto da un'industria all'altra, ed i paesi per svariati motivi si specializzano in maniera diversa, queste cifre potrebbero in realtà rispecchiare differenze negli andamenti di specializzazione. In particolare, vi sono svariate economie piccole e sviluppate caratterizzate da una struttura di produzione e commercio altamente specializzata unita a corrispondenti competenze, basi cognitive ed infrastrutture di R&S anch'esse altamente specializzate. Non è affatto chiaro che sarebbe una buona idea considerare tutto ciò come obsoleto, semplicemente perché non si tratta di R&S alta, e concentrare invece tutti gli sforzi su industrie (o segmenti) ad intensità di R&S molto più elevate. Infatti, come sostengono von Tunzelmann e Acha (2004), potrebbe esserci molto da guadagnare economicamente investendo nell'innovazione (R&S incluse) in industrie con esigenze di R&S più modeste. D'altro canto, vi sono industrie (o segmenti d'industria) le cui prospettive siano lungi dall'essere promettenti, cosicché un graduale riorientamento sarebbe più che giustificato. Il punto che vogliamo sottolineare è che per affrontare tali problematiche in maniera costruttiva è necessaria un'analisi relativamente dettagliata del sistema d'innovazione del paese in questione: i suoi punti di forza, le sue debolezze nonché le sfide esterne con le quali si deve confrontare.

Tuttavia, anche ammettendo che l'intensità complessiva di R&S nel proprio paese rispetto a quella in altri paesi possa costituire un oggetto naturale delle politiche del paese in questione, non ne consegue necessariamente che gli investimenti pubblici in R&S o le sovvenzioni alla R&S privata siano le uniche opzioni politiche disponibili, o le più appropriate. È importante tenere presente che le differenze riscontrabili nelle intensità complessive di R&S fra economie sviluppate sono per lo più dovute a differenze negli investimenti privati in R&S, non in quelli pubblici (che nel mondo sviluppato tendono ad essere più o meno sullo stesso livello). D'altra parte, gli investimenti privati in R&S dipendono da una serie di fattori, come l'orientamento strategico, i costi, il rischio percepito, la domanda di prodotti o servizi nuovi ed innovativi, e la misura in cui si ritiene che la R&S sia necessaria per soddisfare tale domanda. Dunque, decisioni congiunte sull'innovazione e sulla R&S. Per esempio, se la domanda è in calo o se il rischio viene ritenuto troppo alto (il che in alcuni casi potrebbe essere la stessa cosa), i progetti d'innovazione verranno abbandonati (o non avviati), e così anche i relativi investimenti in R&S. Concentrare l'attenzione esclusivamente sull'entità degli investimenti in R&S, invece che sull'innovazione e sulla più ampia serie di fattori che la influenzano, equivale ad occuparsi dei sintomi di una malattia piuttosto che della malattia stessa e delle sue cause. Potrebbe essere più opportuno invertire i termini della questione, e chiedersi cosa possano fare i decisori politici per influenzare i fattori che sappiamo esercitare un grande impatto sull'innovazione, piuttosto che concentrarsi esclusivamente sulle risorse disponibili per l'innovazione, che potrebbe non essere il fattore vincente. Sebbene il progetto TEARI non si proponesse di esaminare in profondità le relative problematiche politiche, una raccomandazione che potremmo fare sarebbe di esplorare la possibilità di intervenire sul lato della domanda, la quale dopo tutto è uno dei fattori più importanti alla base di un'innovazione riuscita.

Non dovrebbe essere difficile, visto che in molti paesi i politici controllano effettivamente circa metà del PIL (un po' meno in altri paesi, ma comunque sempre una bella fetta della domanda complessiva). Una sfida sarebbe come trasformare i settori pubblici più grandi, come l'istruzione, la sanità, le comunicazioni, l'approvvigionamento energetico (in alcuni paesi), ecc., in forti stimolatori di innovazione. Più in generale, quel che serve è una transizione verso un'economia sperimentale, in cui gli esperimenti con nuove soluzioni e tecnologie non siano l'eccezione, ma la regola. Una tale economia genererebbe indubbiamente più innovazione, e maggiore spesa in R&S nel settore privato. Per riuscirci occorrerebbe tuttavia che decisori politici ed opinione pubblica avessero una buona tolleranza per i fallimenti che inevitabilmente accompagnerebbero qualsiasi eventuale transizione ad un quadro di politiche tese alla sperimentazione.

Insegnamenti da (per?) i Programmi Quadro

Dopo aver illustrato alcuni degli insegnamenti più generali tratti dal progetto, occupiamoci ora di due domande più specifiche: (1) come hanno contribuito i Programmi Quadro dell'Unione Europea alla crescita della conoscenza in questo campo, e (2) quanto potranno essere utili le conclusioni di questo progetto per i Programmi Quadro futuri?

Fin dai suoi esordi, l'Unione Europea ha posto in rilievo la questione della ricerca – la quale infatti era già menzionata nel trattato che nel 1951 istituì la Comunità Europea del Carbone e dell'Acciaio – ma vedendola soprattutto in un'ottica tecnologica. Tuttavia, in seguito al rallentamento dell'economia mondiale alla metà degli anni 70, emerse la necessità di una prospettiva più ampia sul ruolo della tecnologia e dell'innovazione nel cambiamento economico e sociale nel lungo termine.

Fu pertanto istituita una serie di programmi di ricerca della Comunità Europea mirati alla previsione ed alla valutazione di sviluppo nella scienza e nella tecnologia (cioè il programma FAST – "Forecasting and Assessment in Science and Technology" – in seguito MONITOR). Le ricerche effettuate nell'ambito di questi programmi si occuparono principalmente di alcune tecnologie e/o settori particolari, come le tecnologie ICT, la biotecnologia ecc., ma anche in certa qual misura anche di problematiche più generali come globalizzazione, regionalizzazione, competitività, occupazione/lavoro, e così via.

Un'importante incremento dei fondi europei per la ricerca nel campo delle scienze sociali venne nel 1994 con il Programma Mirato di Ricerca Socio-Economica (TSER – "Target Socio-Economic Research Program"), che faceva parte del Quarto Programma Quadro. Lo TSER si basava sul concetto che la frammentazione delle scienze sociali ostacolava lo sviluppo delle ricerche incentrate su importanti obiettivi sociali e politici. Esercitò perciò una forte attrattiva interdisciplinare.

Era mirato a tre campi specifici, uno dei quali era la "valutazione delle opzioni scientifiche e tecnologiche". Obiettivi analoghi furono centrali anche nel Quinto Programma Quadro (dal 1998 in poi), una delle cui "azioni chiave" era dedicata in special modo alla ricerca socio-economica. Una delle priorità tematiche all'interno di questa azione chiave era "tecnologia, società ed occupazione".

Non c'è alcun dubbio che i programmi europei in questo campo, in particolare il programma TSER, furono un importante stimolo alla ricerca interdisciplinare sul ruolo svolto dalla scienza e dalla tecnologia nel cambiamento economico e sociale, ma è diffi-

*transizione
verso una
economia
sperimentale*

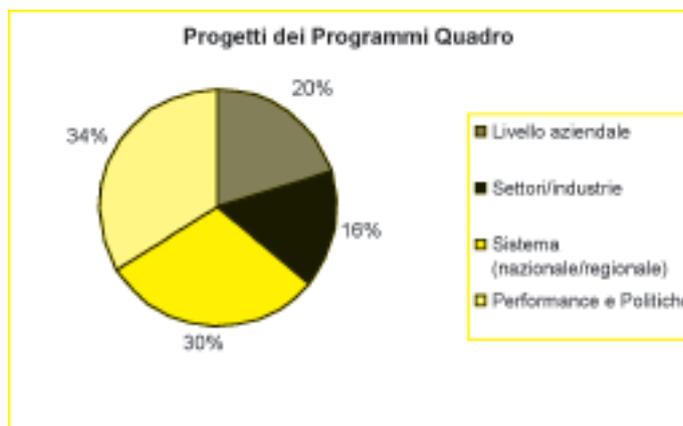
cile valutarne l'esatta dimensione, dato che, per quanto ne sappiamo, il loro ruolo non è mai stato studiato in maniera adeguata². Tuttavia, per fare un po' di luce sulla questione decidemmo di indagare su quanto le priorità tematiche delle ricerche intraprese nell'ambito del programma TSER e delle azioni chiave del Quarto e del Quinto Programma Quadro concordassero con quelle individuate dal progetto TEARI.

Si può accedere ai progetti TSER ed a quelli delle "azioni chiave" sul sito web <http://improving-ser.sti.jrc.it/default>. Quando venne effettuata la ricerca TEARI, il database conteneva 276 progetti (oggi è un po' più grande, con più di 300 progetti). Un esame preliminare dei titoli e dei sunti dei progetti indicò che circa un terzo dei progetti si occupava di questioni che interessavano "tecnologia, ricerca ed innovazione". Escludendo quelli che non erano stati terminati entro la fine del 2002 (e per i quali le informazioni disponibili erano scarse), ed alcuni che ad un esame più attento si erano rivelati non pertinenti, il numero di progetti pertinenti si ridusse a 70. Questi 70 progetti vennero suddivisi in quattro classi principali, paragonabili alle quattro sezioni del progetto TEARI (livello aziendale, livello di sistema, livello di settore e performance/politiche), a loro volta suddivise in sottocategorie.

La figura 2 mostra la suddivisione dei progetti nei quattro gruppi principali. Come evidenziato dal grafico, vi è una forte preferenza per le problematiche più "macro-orientate": circa due terzi dei progetti ricadono infatti nei campi "performance e politiche" e "sistema". Esaminando più in dettaglio la distribuzione entro queste due ampie classi, vediamo che molti progetti compresi nel campo "performance e politiche" riguardano problematiche legate all'occupazione oppure metodi, tecniche o dati specifici che abbiano rilevanza per l'elaborazione di politiche.

Per contro, i progetti sugli effetti della ricerca e dell'innovazione sulla crescita/produzione sono relativamente pochi, mentre quasi nessuno studia la competitività (anche se alcuni progetti più grandi integrano queste problematiche entro una cornice più ampia). Molti dei progetti che ricadono nel campo "sistema" si concentrano su parti specifiche del sistema, come la R&S e l'istruzione, o su problematiche regionali, mentre – circostanza forse sorprendente – quelli che studiano i sistemi nazionali d'innovazione nel loro insieme sono pochissimi.

Circa un terzo di questi progetti riguarda il livello aziendale o settoriale. I relativamente pochi progetti (circa un quinto del totale) classificati nel livello aziendale possono essere ulteriormente suddivisi in tre sottocategorie: formazione, networking e



² Si veda comunque Benavot e Gross (2004) per un'analisi degli effetti dei programmi quadro sulle scienze sociali più in generale, e Kastrinos e Guy (2004) per una valutazione dei risultati del programma TSER.

organizzazione della gestione/lavoro.

Ciò che colpisce maggiormente è che non c'era quasi nessun progetto che studiasse i processi d'innovazione nelle aziende. Data l'importanza dell'innovazione per il cambiamento economico e sociale, ed il ruolo svolto dalle aziende nell'innovazione stessa, questa va considerata un'omissione macroscopica. I progetti settoriali coprono un gran numero di settori ed industrie, dalla chimica e la biotecnologia alle telecomunicazioni al software al terziario. Gran parte di questi progetti studia ciò che potrebbe essere etichettato come "high tech" (o che viene comunemente classificato come tale), mentre non si presta molta attenzione ai settori "low tech", i quali, come osservano von Tunzelman e Acha (2004), sono molto importanti dal punto di vista dell'economia.

Concludendo, lo studio TEARI conferma che l'Unione Europea è stata un'importante fonte di finanziamento per le ricerche sul ruolo svolto dalla ricerca e dall'innovazione nel cambiamento sociale ed economico.

Analizzando l'impatto dei Programmi Quadro sulle scienze sociali in Europa, Benavot (2004) ha trovato che questi programmi hanno contribuito a rafforzare la ricerca europea nel campo delle scienze sociali, a definire una più chiara identità europea fra i ricercatori che vi partecipavano ed a diffondere una maggiore interdisciplinarietà. Non c'è alcun motivo per ritenere che queste conclusioni non siano altrettanto valide per la più ristretta sottocategoria di ricerca da noi studiata in questa sede.

Tuttavia, la ricerca sostenuta dall'Unione Europea in questo campo ha mostrato di avere una forte inclinazione per le problematiche "macro-orientate" e "settoriali", alcune delle quali sono da lungo tempo prioritarie nei programmi di ricerca UE.

È da osservare che in realtà le priorità rivelate in questo modo non rispecchiano in maniera adeguata certe problematiche che il progetto TEARI ha individuato essere fra le più urgenti.

Se l'innovazione è la fonte di cambiamenti economici e sociali sul lungo termine, e se l'UE intende conseguire l'obiettivo (Summit di Lisbona, marzo 2000) di essere "l'economia *knowledge-based* più competitiva e dinamica del mondo", per sostenere il processo che conduce a tale traguardo occorre creare una base di conoscenza socio-economica molto più forte.

Ciò può essere ottenuto soltanto mediante la creazione di una comunità interdisciplinare di studiosi dedicati alla ricerca sull'innovazione, e sotto tale aspetto la filosofia sottesa al programma TSER e ad iniziative successive era corretta.

Tuttavia, potrebbero occorrere sia un più deciso orientamento verso problematiche d'importanza fondamentale troppo a lungo trascurate, sia la capacità di individuare (e perseguire nel tempo) problematiche critiche che andrebbero approfondite, anche in assenza di una forte comunità di ricerca (disciplinare od altro) che spinga in questo senso.

*creare una
base di
conoscenza
socio-
economica
molto forte*

Questa relazione si basa sul lavoro effettuato nell'ambito del progetto TEARI, i cui principali risultati sono stati recentemente pubblicati dalla Oxford University Press col titolo "The Oxford Handbook of Innovation", a cura di Jan Fagerberg, David C. Mowery e Richard R. Nelson. Va tuttavia sottolineato che le opinioni espresse in questa sede sono quelle personali dell'autore e non coinvolgono gli altri partecipanti al progetto né i suoi finanziatori, ovvero la Commissione Europea e il Consiglio Norvegese delle Ricerche. L'autore desidera ringraziare Ovar Andreas Johansson e Fulvio Castellacci per la loro collaborazione, nonché Nikos Kastrinos, David Mowery, Bengt Åke Lundvall e Bart Verspagen per i loro commenti su una bozza precedente.

Bibliografia

- BENAVOT, A. and S.GROSS (2004), *The Dynamics of Social Science Research in European Union Consortia: The Perspective of Project Coordinators*, Working Paper No. 2004-01, Dept. of Sociology and Anthropology, Hebrew University of Jerusalem.
- BRULAND, K. and D. C. MOWERY (2004), *Innovation through time*, cap. 13. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- EDQUIST, C. (2004), *Systems of innovation – perspectives and challenges*, cap. 7 in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (eds.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- FAGERBERG, J (2004), *Innovation: a guide to the literature*, cap. 1 in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- FAGERBERG, J. and M.M. GODINHO (2004), *Innovation and catching-up*, cap. 19. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- GRANSTRAND, O. (2004), *Innovation and intellectual property rights*, cap. 10. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- KASTRINOS, N and K. GUY (2004), *Lessons from Targeted Socio-economic Research for the Formulation and Evaluation of European Science and Technology Policy Options*, The IPTS Report- N. 84 – May 2004.
- KLINE, S.J. and N. ROSENBERG (1986), *An Overview of Innovation*, in R. Landau and N. Rosenberg (ed.) *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, Washington D.C.: National Academy Press, pagg. 275-304.
- LAM, A. (2004), *Organizational innovation*, cap. 5 in J. Fagerberg, D. C. Mowery e R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- MALERBA, F. (2004), *Sectoral systems: How and why innovation differs across sectors*, cap. 14. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- MILES, I. (2004), *Innovation in services*, cap. 16. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- MOWERY, D, C, and B. N. SAMPAT (2004), *Universities in national innovation systems*, cap. 8 in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- SMITH, K. (2004), *Measuring innovation*, cap. 6 in J. Fagerberg, D. C. Mowery e R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.
- VON TUNZELMANN, N. and V. Acha (2004), *Innovation in 'low-tech' industries*, cap. 15. in J. Fagerberg, D. C. Mowery and R.R. Nelson (ed.), *Oxford Handbook of Innovation*, Oxford University Press, Oxford.

Nanotecnologie, convergenze tecnologiche e potenziali applicazioni biomediche

VINCENZO CAPUANO

ENEA
UTS Biotecnologie,
Protezione della Salute
e degli Ecosistemi

studi & ricerche

La convergenza fra nanotecnologie, biotecnologia e tecnologia della conoscenza potrebbe portare un incremento delle prestazioni della "macchina umana". Al di là di una attenta valutazione degli aspetti etici, tutto ciò potrebbe comportare anche un notevole impatto sull' economia e sulla società

Nanotechnologies, converging technologies and potential biomedical applications

Abstract

The applications of nanotechnology to biology and medicine appear really promising for diagnostics, for various therapeutic approaches and in medical instrumentations. The growing synergism among nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive sciences, their convergence (NBIC) from the nanoscale, could involve on next decades great changes in medicine, from a reactive to a predictive and preventive approach. It is expected that NBIC converging technologies could achieve tremendous improvements in human abilities and enhance societal achievements. It appears therefore necessary a careful assessment of related social and ethical implications, in the framework of a constant dialogue between science and society

Le applicazioni tecnologiche rivolte alla cura della salute e all'alimentazione, come spesso accade, sono quelle che suscitano maggiore attenzione sociale. Una tecnologia che prometta di curare il cancro, diagnosticare in modo rapido una malattia, aumentare o migliorare le prestazioni psico-fisiche negli anziani, fornire più cibo salubre e di qualità, attiva nella società una grande spinta verso la sua applicazione. Le nanotecnologie, le nanoscienze in generale, applicate alla biologia e alla medicina, per la aumentata capacità di manipolazione della materia a livello molecolare, possono consentire davvero notevoli sviluppi in questi campi.

Attraverso l'uso di nanostrutture e di nanosistemi è prevedibile che vengano migliorate, tra l'altro, le attuali capacità di sequenziamento e caratterizzazione genetica, l'analisi delle proprietà chimiche e meccaniche delle cellule a scala nanometrica; che sia reso possibile controllare il comportamento delle singole molecole nella cellula e le interazioni a livello di atomi, come quelle che si verificano tra antigeni e anticorpi. I grandi settori di sviluppo sono pertanto previsti nell'analitica e nella diagnostica, nella terapeutica e strumentazione medica.

Le applicazioni nel settore diagnostico potranno avvalersi dei progressi nella sensoristica e nella tecnologia degli *arrays*, che diverranno sempre più miniaturizzati e complessi, passando da quelli a DNA a quelli in cui viene montata una cellula sul chip. Particolari *arrays* sono quelli rappresentati da *cantilever* di microscopi a forza atomica, appositamente progettati e funzionalizzati, potenzialmente in grado di rilevare la presenza di biomolecole di interesse diagnostico a livello di pochi attogrammi (10^{-18} grammi). Un aspetto particolarmente importante nella diagnostica è rappresentato dall'*imaging*, cui può dare notevoli contributi l'impiego di nanoparticelle, NP

(quantum dot, dendrimeri ecc.). Alcune indicazioni di potenziali applicazioni terapeutiche delle nanotecnologie sono relative alla somministrazione di farmaci o geni, allo sfruttamento delle proprietà magnetiche o termiche delle nanoparticelle, all'impiego di nuovi materiali per protesi.

La sempre maggiore integrazione dell'informatica con le scienze della vita, con lo studio dei geni e delle biomolecole, con la medicina da un lato e le strette connessioni e la convergenza possibile tra nanoscienze, biotecnologie e tecnologie dell'informazione e della conoscenza (NBIC) dall'altro, hanno originato progetti, in particolare negli USA, che raccolgono ingenti finanziamenti e che potrebbero portare nei prossimi decenni rivoluzionarie innovazioni.

Il mercato mondiale dei prodotti per la cura della salute è davvero imponente, avendo superato nel 2002 i 400 MD di \$, di cui oltre la metà spesi nel Nord America. Le nanobiotecnologie rappresentano ovviamente un settore del tutto nuovo, ma per cui è attesa una rapida espansione: le previsioni al 2008 indicano in 3 MD di \$ la sua dimensione globale, anche in considerazione di una riduzione progressiva dei costi di produzione e di una attenta politica verso i consumatori. Le aree di intervento di aziende già attive nelle applicazioni biomediche con impiego di nanomateriali vanno dalla somministrazione di farmaci con nanoparticelle ai marcatori biologici, a nuovi materiali per trapianti, a nuovi biocidi e disinfettanti.

In Europa, nell'ambito del VI Programma Quadro, è stato lanciato nel febbraio 2004 il Network "*Nano2Life*", allo scopo di fornire un'interfaccia tra nano e biotecnologie, tra settore pubblico e privato, tra ricerca, industria e medicina. Vi partecipano oltre 170 ricercatori europei (oltre ad altri gruppi in Australia, Giappone, Cina, Usa), piccole e medie imprese, tre

ospedali. Il finanziamento previsto per quattro anni è di oltre 13 ML € e si prefigge, attraverso specifici progetti, di ottenere risultati applicativi nei settori dei biochip innovativi, biomateriali, metodi e strumenti analitici e terapeutici, nonché di fornire adeguata formazione tecnica anche a distanza (e-learning), oltre che informazione sociale. In prospettiva, è prevista la creazione di un Istituto Europeo di Nanobiotecnologie, con funzioni sia di centro di eccellenza scientifica che di riferimento per l'industria e la società in generale.

Applicazioni per analitica e diagnostica

Nanoparticelle funzionalizzate e biosensori avanzati

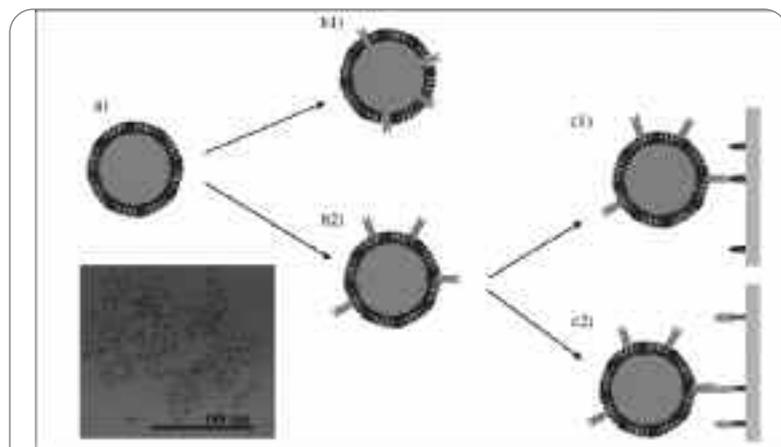
Il contributo delle nanobiotecnologie allo sviluppo di nuovi sistemi diagnostici si sta realizzando anche attraverso lo studio e la messa a punto di biosensori avanzati utilizzando nanotubi, nanoparticelle - quantum dot, QD - e sistemi nanofluidici. Le ricerche in corso mostrano come si tenda, in prevalenza, ad affrontare il monitoraggio di molecole di interesse biologico con sistemi che siano non solo sensibili e selettivi, ma anche a risposta veloce e portatili, adatti ad applicazioni in campo sia per diagnosi rapide in emergenze di natura medica, che ambientale. Ad esempio esistono studi su sensori altamente sensibili (si pensa di giungere a monitorare una singola molecola) che utilizzano NP di Fe (diametro 6 nm) o nanostrutture di materiali semiconduttori (larghezza 30-300 nm, spessore 10-30 nm, lunghezza di qualche mm) per monitoraggio di DNA o altre molecole biologiche con rivelazione magnetica o elettrochimica^{1,2}. L'ottenimento di sonde cellulari e biosensori avanzati viene perseguito anche utilizzando sistemi nanofluidici. In essi vengono studiati i fenomeni

idrodinamici, elettrochimici e biochimici legati al passaggio di fluidi e biomolecole in nanotubi di vari diametri, sfruttando le conoscenze acquisite con i sistemi microfluidici. Procedendo in una miniaturizzazione sempre più spinta, si punta al monitoraggio di concentrazioni bassissime, inferiori alle femtomoli (10-15 moli), delle varie molecole di interesse^{3,4}. Con l'impiego dei nanotubi nello sviluppo di sensori chimici e biologici, attraverso reazioni altamente specifiche legate alla ibridizzazione del DNA o alle interazioni antigene-anticorpo e misurando opportunamente gli effetti di queste reazioni, è possibile pertanto prefigurare lo sviluppo di sensori capaci di individuare la presenza di una singola molecola e di recare grandi vantaggi nell'analisi di geni e proteine nei sistemi viventi⁵⁻⁸. Un interessante sistema che può consentire il rilevamento continuo *in vivo* del glucosio, sfruttando la fluorescenza nel vicino infrarosso di nanotubi funzionalizzati è stato messo a punto da un gruppo di ricerca di Houston, negli Usa. Previo impianto epidermico di un dispositivo capillare (lunghezza 1 cm, diametro 200 μm) contenente una sospensione di nanotubi di carbonio, è possibile monitorare la luce emessa all'esterno, legata alla reazione tra il nanotubo funzionalizzato e il glucosio penetrato nel capillare. Gli autori ne ritengono possibile l'estensione al monitoraggio di proteine o DNA, usando specifiche funzionalizzazioni dei nanotubi⁹. Va detto che lo sviluppo dei nuovi metodi diagnostici per DNA, basati sull'impiego di NP (QD, nanotubi) e che appaiono più semplici, più veloci, più accurati e meno costosi, sta creando le premesse per far ritenere a breve superata la metodica PCR¹⁰.

Le applicazioni per analisi e diagnosi con metodi innovativi prevedono, tra l'altro, l'impiego di QD di semiconduttori quali marcatori di biomolecole. Come è noto, le proprietà ottiche e gli spettri di

fluorescenza dei QD dipendono dalle loro dimensioni, cioè variano colore al variare della dimensione e possono essere quindi utilmente impiegati sia per analisi che in diagnostica, potendo con essi marcare le molecole o le cellule di interesse. Con opportuni accorgimenti è possibile ottenere particelle sufficientemente uniformi nelle dimensioni; in tal modo si originano spettri di fluorescenza molto ristretti ed è possibile anche usare QD di diverse dimensioni per marcare ed analizzare più molecole o cellule, utilizzando una singola sorgente di eccitazione. La prima fase per le applicazioni in biomedicina è rappresentata dalla necessità di trattare opportunamente la superficie dei QD funzionalizzandola mediante molecole che li rendano attivi specificatamente per i target prescelti e idrosolubili (figura 1).

Interessante appare l'impiego di QD per



- a) QD circondato da catene idrofiliche per renderlo idrosolubile;
 b 1) anticorpi adsorbiti sul QD;
 b 2) anticorpi legati alle catene idrofiliche;
 c 1) QD bioconiugato si lega direttamente al recettore;
 c 2) QD bioconiugato si lega al recettore mediante anticorpo secondario.

Nel riquadro: microfoto di QD adsorbiti.

Fonte: W.J.Parak et al., *Nanotechnology*, 16, R9, 2005.

Figura 1

Rappresentazione schematica di Quantum Dot idrosolubili e funzionalizzati con anticorpi

lo studio di cellule tumorali. QD trattati con IgG e streptavidina si legano selettivamente a marcatori presenti sulla superficie di cellule di tumore mammario, a componenti del citoscheletro e ad antigeni nel nucleo, mostrando una fluorescenza più intensa e di durata maggiore rispet-

to ai metodi tradizionali. Usando QD di diversa dimensione è risultato possibile inoltre monitorare simultaneamente due parametri con una sola lunghezza d'onda di luce incidente¹¹. C. Mirkin e i suoi collaboratori hanno sviluppato un interessante metodo ultrasensibile per il monitoraggio di alcune proteine, impiegando NP d'oro funzionalizzate con DNA e microparticelle magnetiche funzionalizzate con anticorpi specifici. In particolare viene illustrato il monitoraggio di PSA (antigene indicatore del cancro alla prostata) a livelli di concentrazione nel siero di circa 30 attomolare (30×10^{-18} molare), laddove con i metodi convenzionali usati in clinica, per la stessa misurazione, si perviene a monitorare concentrazioni a livello di 3 picomolare (3×10^{-12} molare), ossia con una sensibilità di vari ordini di grandezza inferiore¹². Il rilevamento precoce di un biomarker proteico associato alla malattia di Alzheimer, nel liquido cerebrospinale, è invece oggetto di ulteriori ricerche del gruppo di C. Mirkin. Questi studi, effettuati su 30 soggetti con prelievi *post mortem*, hanno mostrato la possibilità di determinare concentrazioni bassissime (tra ca. 1 aM e ca. 10 fM) del biomarker e di legare gli aumenti della sua concentrazione agli sviluppi della malattia degenerativa¹³.

Come si nota, si tratta di applicazioni che risultano particolarmente stimolanti. Con NP di materiali magnetici è possibile progettare una serie di test diagnostici basati sullo sfruttamento delle proprietà magnetiche delle NP legate ad anticorpi relativi a determinate malattie oppure si possono impiegare NP tessuto-specifiche come mezzo di contrasto in risonanza magnetica e radiografie. Impiegando invece NP di metalli come Au o Ag è stato possibile identificare particolari sequenze geniche o altre componenti biologiche. Viene in pratica sfruttata la variazione nella diffrazione della luce che si ottiene quando la molecola da identifi-

care viene a legarsi alla NP opportunamente funzionalizzata. Il rilevamento ottico viene impiegato anche in un altro sistema, attivato in particolare per lo studio di polimorfismi genetici. Questo consiste nell'impiego di microsfele di lattice riempite con QD di varie dimensioni (vari colori), ove ciascun QD è legato a specifiche sequenze di DNA. In definitiva i QD appaiono particolarmente promettenti e versatili per le proprietà legate alle dimensioni, così vicine a quelle delle macromolecole biologiche^{14,15}.

Un particolare impiego di NP di oro prevede la loro incorporazione in virus, da visualizzare una volta che essi siano all'interno di una cellula, sfruttando l'effetto Raman. Lo scattering di un raggio laser incidente su un materiale, una cellula, dà luogo a una frazione di luce emergente che possiede una lunghezza d'onda diversa, causata dalle vibrazioni caratteristiche di alcune molecole presenti e questo fenomeno può essere sfruttato per avere utili informazioni. Gli spettri Raman sono però molto deboli e la presenza della NP di oro li rende cinque volte più potenti. Secondo gli autori di una ricerca, è possibile visualizzare all'interno di una cellula vivente un virus che, come un "cavallo di Troia", reca la NP di Au al suo interno (che non verrebbe vista come corpo estraneo dalla cellula), potendo seguire alcuni aspetti della chimica della cellula intorno al virus (ca. 30 nm). Ciò in quanto il segnale Raman può variare, ad esempio, in funzione del pH o della forza ionica dell'ambiente virale¹⁶.

La realizzazione di nanocapsule multistrato, appositamente funzionalizzate sia nella superficie esterna che interna, provviste di nanopori, può consentirne l'impiego in varie condizioni chimico-fisiche e renderne possibile l'uso per scopi analitici, diagnostici e terapeutici. Oltre che potenzialmente utili per analizzare sostanze di interesse ambientale, alimentare, diagnostico (in campioni prelevati da orga-

nismi), ad esse possono essere legate specifiche proteine in grado di veicolare verso siti target per il trasporto di farmaci o geni¹⁷.

Un approccio di misura per il DNA, completamente diverso da quelli illustrati sinora, è quello di far passare questa molecola attraverso un nanoporo, misurando le variazioni di corrente registrate al passaggio del nucleotide in soluzione. Si tratterebbe di una sorta di Coulter Counter molecolare per DNA.

Esistono vari lavori sull'argomento^{18,19}, e sono stati anche impiegati nanopori costituiti da α -emolisina, al cui interno è legato covalentemente del DNA a singolo filamento, a costituire un "nanoporo a DNA"²⁰. Viene evidenziata la possibilità di risoluzione a livello di una singola base, potenzialmente utile in molte applicazioni diagnostiche, dallo studio dei polimorfismi a quello di ceppi resistenti di particolari patogeni, incluso l'HIV.

Alla Stanford University (USA) lavorano invece allo sviluppo di nanopipette in quarzo, del diametro di 50 nm, per il monitoraggio di molecole di DNA (e proteine) legate a NP di oro. Anche qui il passaggio del complesso NP-DNA determina una variazione di corrente che va analizzata²¹.

La crescente facilità di operare su singole molecole fa immaginare non lontano il tempo in cui si renderà possibile leggere fisicamente le sequenze di DNA, aprendo nuovi scenari in medicina²².

Tecnologia array a rilevazione multipla: chip e cantilever

La sempre maggiore miniaturizzazione dei sistemi di analisi a piastra multipla (anche 10^5 "pozzetti di reazione" per cm^2), ove in ciascun pozzetto si esegue uno specifico *test*, ha consentito di studiare simultaneamente numerosi parametri nel sequenziamento del DNA, nelle diagnosi di malattie genetiche, nei *test* di effi-

cienza dei farmaci, negli studi di espressione genica. Questi microsistemi di analisi multipla o chip vengono funzionalizzati con DNA o proteine. Aziende come Affimetrix hanno posto sul mercato dei chip a DNA per la rilevazione simultanea nel campione in esame di diversi genomi, basandosi su una reazione di ibridazione che viene evidenziata per fluorescenza. La sua localizzazione e intensità sul chip dà informazioni su quali geni sono espressi e in che misura. I chip a DNA vengono anche usati nello studio dei polimorfismi genetici dell'uomo (variazioni di un singolo nucleotide), oltre che per confrontare i profili di espressione genica di tumori solidi primari e quelli delle metastasi provenienti da diversi tessuti umani. Passando in rassegna i vari metodi (ottici, elettrici, elettrochimici e gravimetrici) impiegati per la rilevazione dei dati ottenuti con gene-chip che utilizzano NP metalliche (essenzialmente Au) debitamente funzionalizzate, si evidenzia la vasta scelta della piattaforma potenzialmente utile per l'analisi del DNA, in funzione della selettività, sensibilità, velocità di ottenimento dei dati, portabilità e costi. I microchip a DNA vengono prodotti sia sintetizzando in loco l'oligonucleotide che depositandolo e immobilizzandolo sul chip.

I chip a proteine, d'altro canto, rappresentano una sfida impegnativa, considerato il gran numero di proteine presenti nell'uomo e che possono essere coinvolte negli studi sulle varie patologie. Infatti il proteoma umano è stimato in 0,5-1 milione di proteine, mentre la loro funzionalità legata alla struttura tridimensionale ne rende difficile la sintesi e l'amplificazione, cosa invece possibile con la PCR per il DNA. La produzione di chip proteici è alla fase iniziale, a causa di queste caratteristiche proprie delle proteine, e un approccio che viene seguito è quello di farle reagire con anticorpi fissati sui chip, con rilevazione fluorescente della rea-

zione intervenuta. Quantità di pochi nanolitri di campione contenente le proteine in studio consentono la predisposizione di chip con circa 1600 punti di reazione (spot) per cm^2 , tuttavia il processamento di volumi dell'ordine dei femtolitri (10^{-15} litri) risulta al momento ancora complesso. Va aggiunto che l'impiego delle tecniche di nanolitografia con dip-pen, che sfrutta la estremità di scansione di un microscopio a forza atomica per depositare nano quantità di molecole di interesse, potrebbe condurre alla produzione di spot di circa 100 nm.

L'evoluzione dei chip porta a intravedere la creazione di dispositivi che andranno a sostituire interi laboratori di analisi clinica. Si parla infatti di lab-on-a-chip (LOC), laboratorio su chip, in cui la miniaturizzazione, spinta oltre il livello micro, consentirà l'analisi multipla di numerosi parametri su quantità davvero minime di campione (tra 10^{-12} e 10^{-18} litri). Piattaforme LOC sono già state sviluppate da alcune aziende (www.agilent.com), ma per ottenere un LOC che, nel caso ideale, possa costituire l'unico dispositivo analitico-diagnostico posto presso il paziente per dare risultati in tempo reale, occorrerà ancora del tempo. Un particolare chip è quello costituito dalla immobilizzazione di cellule su di esso, cosa che consente di evitare i problemi posti, ad esempio, dalla denaturazione delle proteine, nel caso di chip destinati allo studio delle interazioni tra proteine. L'immobilizzazione di cellule su chip, al di là delle difficoltà tecniche per mantenerle vitali, può essere impiegata anche in studi sulla selezione di nuovi farmaci, sulle proteine di membrana, sull'attività elettrica di neuroni. A tal proposito si ricorda il lavoro di P. Fromherz del Max Plank Institute di Monaco, che ha pubblicato una ricerca sull'attività elettrica di neuroni connessi ad un chip²³. È stato possibile ottimizzare l'interfaccia neurone-chip, anche in presenza di una rete di neuroni di mammifero, preludio ad

ulteriori ricerche per applicazioni in neurobiologia, medicina, tecnologia dell'informazione (figura 2).

Anche nel settore legato all'impiego di cantilever di microscopi a forza atomica (MFA) per lo sviluppo di sensori avanzati, esiste un filone di ricerca che utilizza array di cantilever per il monitoraggio delle biomolecole. Sono stati sviluppati infatti cantilever di varie dimensioni o funzionalizzati diversamente, presenti in un unico array, allo scopo di monitorare ad esempio differenti concentrazioni delle molecole di interesse. Nella figura 3 viene mostrato uno schema che sfrutta la deflessione di cantilever multipli a seguito di reazione specifica con le molecole da monitorare.

Un gruppo di ricerca svizzero ha presentato interessanti risultati con questo tipo di sensori, detti nanomeccanici perché basati sulla deflessione del cantilever dovuta al legame con l'analita da monitorare. In particolare in un lavoro viene evidenziato il monitoraggio di due proteine: la creatina chinasi e la mioglobina, che sono due importanti biomarker cardiaci presenti nel plasma, utili per seguire pazienti sofferenti di infarto.

Usando un array di otto cantilever (spessore 500 nm), funzionalizzati con anticorpi specifici, è stata ottenuta una sensibilità per la mioglobina inferiore a 20 mg/ml (circa 1 μ M), con una deflessione differenziale del cantilever di misura, rispetto al controllo, di 50 nm per la creatina chinasi e 45 nm per la mioglobina. Viene dimostrata la possibilità di monitoraggio multiplo, anche quantitativo, in tempo reale (meno di dieci minuti) delle biomolecole ²⁴.

Il principio di funzionamento del sensore formato da un array di vari cantilever si può basare anche sulla variazione della frequenza di risonanza del cantilever in presenza dell'analita. La sensibilità della misura è regolata dalla geometria dei cantilever (dimensioni minori danno una

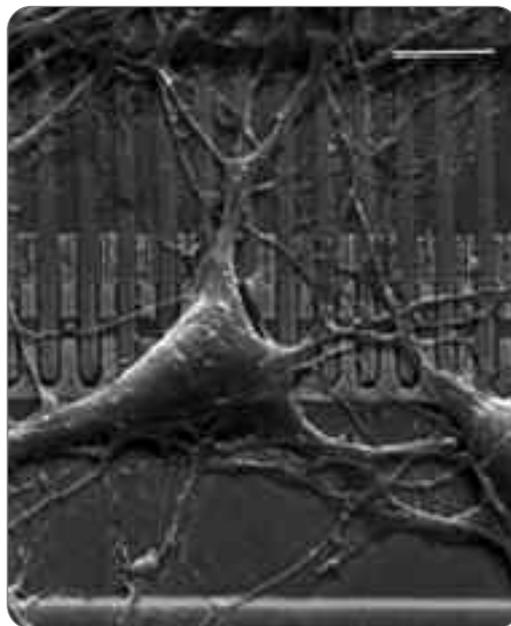


Figura 2
Interfaccia chip-cellula vivente

Ottimizzazione dello studio delle interazioni tra rete neuronale di ratto e chip di silicio, preludio a interessanti applicazioni in tecnologie dell'informazione, neurobiologia, medicina

Fonte: P. Fromherz, vedi referenze

più alta frequenza e più alta sensibilità) mentre la selettività è determinata dai composti, capaci di specifiche reazioni, con cui vengono funzionalizzate le superfici dei cantilever. Nella figura 4 viene mostrato un array di cantilever di silicio di varia sensibilità, sviluppato da ricercatori dell'Oak Ridge National Laboratory, Usa. Il sensore è in grado di monitorare

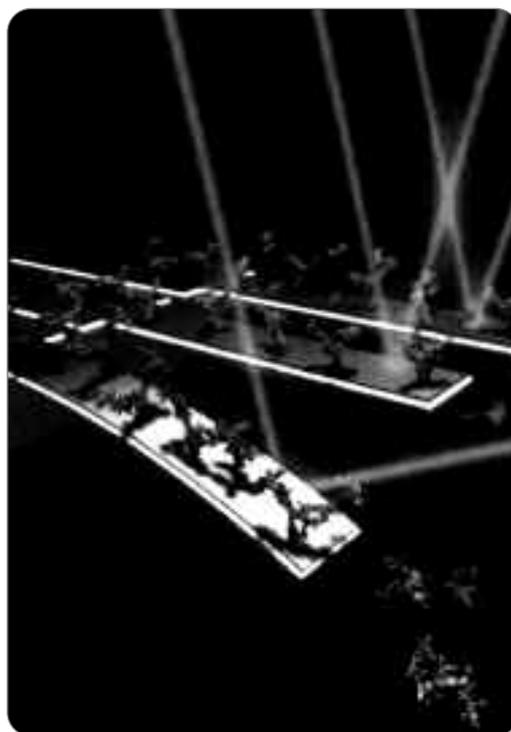


Figura 3
Monitoraggio biomolecole con cantilever funzionalizzati di microscopio a forza atomica

Descrizione della figura schematica: Cantilever di silicio, rivestiti con molecole in grado di originare reazioni chimicamente o biologicamente selettive. In presenza della molecola da identificare la reazione dà luogo a una deflessione del cantilever che viene monitorata a seguito della deflessione della luce incidente. L'apparato consente misure rapide e sensibili di biomolecole e specie chimiche

Fonte: A. Majumdar, University of California, USA

pochi femtogrammi di composto ($1 \text{ fg} = 10^{-15} \text{ g}$), e modificando le geometrie è possibile rilevare varie concentrazioni del composto in esame. Invece funzionalizzando la superficie dei vari cantilever con diversi reagenti è possibile un monitoraggio multiplo di più molecole target. Un recente lavoro svolto alla Cornell University da B. Ilic e collaboratori, impiegando questo tipo di sensori e sfruttando la trasduzione ottica del segnale, evidenzia come possibile la rilevazione di una massa di 0,39 attogrammi ($1 \text{ ag} = 10^{-18} \text{ g}$), con cantilever aventi spessore di 160 nm ²⁵. Ma gli autori ritengono che, con opportuni approfondimenti e modifiche, si possa pervenire ad una sensibilità di un ordine di grandezza maggiore (zeptogrammi, $1 \text{ zg} = 10^{-21} \text{ g}$), la massa di una singola biomolecola media.

Figura 4
Sensore a cantilever multipli, basato su variazione della frequenza di risonanza
 Microfotografia a scansione di un array di cantilever di silicio, rivestiti di oro, di varie dimensioni e varie frequenze di risonanza

Fonte: P. Datskos, Oak Ridge National Laboratory, USA



Gli array di cantilever possono essere impiegati anche per il monitoraggio di nucleotidi mediante ibridazione con sequenze complementari fissate sul cantilever, mentre da segnalare sono inoltre i risultati altamente selettivi ottenuti per il monitoraggio di virus, incluso l'HIV²⁶.

Imaging

Un aspetto importante nelle applicazioni diagnostiche è rappresentato dall'*imaging*, cioè dalla visualizzazione con metodi avanzati di cellule, tessuti, organi. Queste tecniche consentono di avere informazioni diagnostiche sull'anatomia e la morfologia, evitando interventi invasi-

vi, e vengono usate talvolta in combinazione tra loro. Oggi la tomografia computerizzata, che impiega raggi X, consente una risoluzione di circa 1 mm ; l'*imaging* nucleare impiega elementi radioattivi che emettono raggi gamma, consentendo informazioni sui processi fisiologici, anatomia e funzionalità degli organi; con la tomografia ad emissione di positroni (PET), che impiega un elemento radioattivo iniettato nel paziente con produzione di fotoni, è possibile seguire il metabolismo del glucosio nelle cellule: attività inusuali rivelano cellule cancerogene, disturbi neurologici, l'attività cerebrale; la risonanza magnetica è legata alle fluttuazioni delle proprietà magnetiche dei nuclei di idrogeno: è possibile notare variazioni nella struttura dei tessuti, tumori, ottenendo pertanto una risoluzione submillimetrica (fino ad alcuni μ). Oltre queste tecniche, come è noto, si impiegano ultrasuoni e agenti di contrasto che si leghino a marcatori molecolari (per migliori risultati) e la visualizzazione ottica, che sfrutta in particolare la luce nella regione dell'infrarosso ($600\text{-}900 \text{ nm}$) in grado di penetrare per più di 10 cm nei tessuti. I nuovi sviluppi in biologia molecolare e biochimica, in combinazione con le nanotecnologie, possono consentire sempre maggiore sensibilità e specificità anche a livello molecolare, ad esempio attraverso l'uso di nanoparticelle come mezzi di contrasto nelle varie tecniche.

I QD hanno mostrato forte potenzialità nell'*imaging* ottico. D.R. Larson, dopo aver reso idrosolubili QD di CdSe-ZnS li ha iniettati nel circolo sanguigno di topo. È stato possibile effettuare, mediante microscopia multifotonica e sfruttando la fluorescenza dei QD, una approfondita analisi angiografica dei capillari attraverso la pelle o il tessuto adiposo ovarico. Legando ai QD anticorpi è possibile, secondo l'autore, anche uno studio cellulare o investigare sulla eventuale presenza di

antigeni anche se presenti a basse concentrazioni. Anche in questo caso una possibile applicazione nell'uomo potrebbe essere relativa allo studio delle variazioni vascolari nei tessuti tumorali, previo approfondimento della tossicità dei QD²⁷. Lo studio dei linfonodi cosiddetti sentinella si rivela utile nel trattamento chirurgico dei tumori e la loro visualizzazione ottica con QD o altre NP potrebbe avere importanti applicazioni nei tumori relativi a tratto gastrointestinale, polmoni, prostata, utero, e potenzialmente anche melanoma e seno²⁸. Una ricerca su cellule umane di cancro della prostata cresciute in topo, con impiego di QD con funzioni di *cancer targeting* e *imaging*, si è rivelata particolarmente promettente. Il polimero impiegato per il rivestimento dei QD risulta in grado di legare sia agenti diagnostici che terapeutici, i QD vengono rinvenuti nel circolo sanguigno fino a 72 ore e sono in grado di penetrare nei nuclei delle cellule, consentendo inoltre una visualizzazione multicolore e un limite di sensibilità posto tra 10-100 cellule cancerose²⁹. La figura 5 mostra in modo schematico la selettiva incorporazione in cellule cancerose dei QD.

F. Chen ha messo a punto una tecnica che usa QD particolarmente idonei (più piccoli di quelli maggiormente diffusi in commercio e debitamente funzionalizzati) per osservazioni sulle proteine e i processi biologici nel nucleo cellulare. Questi QD presentano bassa citotossicità, maggiore sensibilità, resistenza alla degradazione lisosomale e all'aggregazione all'interno della cellula³⁰. Altri studi mostrano invece QD di silicio funzionalizzati in superficie con acido poliaccrilico, resi idrosolubili e fortemente fotoluminescenti, anche a distanza di cinque giorni, che risultano egualmente utili negli studi di *imaging* cellulare e di biomolecole.

Un gruppo di ricerca USA sta lavorando allo sviluppo di un microscopio a riso-

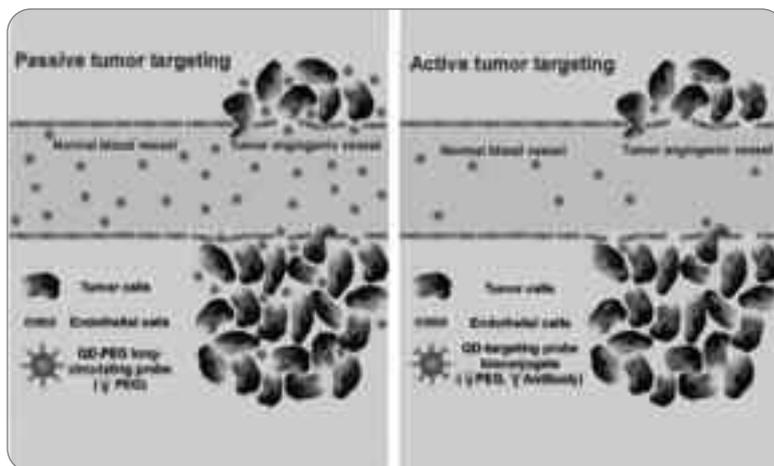


Figura 5
Incorporazione selettiva di QD funzionalizzati in cellule cancerose
Fonte: X. Gao et al.²⁹

nanza magnetica che potrebbe consentire immagini a tre dimensioni della struttura molecolare: sarebbe possibile in tal modo, ad esempio, visualizzare la struttura funzionale di proteine anche non cristallizzabili. Attualmente la struttura delle proteine viene indagata con simulazioni al computer o con la cristallografia a raggi X, ma col microscopio a risonanza magnetica si aprirebbero nuovi scenari. Infatti, misurando le debolissime forze (pochi attonewton) originate dall'interazione tra cantilever magnetizzati e gli elettroni delle molecole in esame, poste in un campo magnetico ad alta frequenza, risulterebbe possibile "vedere" le immagini dei vari atomi all'interno delle molecole e quindi la loro struttura³¹. Si spiega pertanto come il termine "imaging molecolare" venga sempre più usato per indicare le potenzialità offerte dalle nuove tecnologie di visualizzazione, che vengono ad affiancarsi alle prospettive di nuove possibilità terapeutiche che le nanotecnologie applicate alle scienze biomediche lasciano intravedere.

Applicazioni terapeutiche

Lo sviluppo delle nuove tecnologie diagnostiche e di *imaging* molecolare giocherà un ruolo sempre maggiore anche nel fornire soluzioni terapeutiche a livello molecolare, data la loro forte interconnessione. Appare utile, a tal proposito, cita-

re il lavoro di Y. Benenson e collaboratori, pubblicato su Nature ³², che si presta in qualche modo a fare da cerniera di passaggio dagli aspetti diagnostici a quelli terapeutici. Questi ricercatori israeliani hanno realizzato un "computer" biomolecolare a DNA in grado di rilevare in vitro la presenza di mRNA anomalo derivante da alcuni tipi di tumore e di rilasciare altro DNA con funzione antitumorale. Il sistema consiste di tre moduli di DNA programmabili, ciascuno con una funzione specifica:



Il sistema, che gli autori ritengono sufficientemente flessibile, è stato testato su oligonucleotidi simulanti mRNA di geni associati a due tipi di tumore (polmone e prostata) e si è rivelato in grado di produrre una corta catena di DNA a singola elica, capace di interferire con l'espressione dei geni tumorali. Si tratta del primo computer a DNA in cui sia l'*input* che l'*output* sono biologici e, anche se è al momento prematuro pensare ad una vicina applicazione clinica, rappresenta un avanzamento concettuale notevole: si è realizzato il primo germe di possibili future generazioni di computer a DNA che potrebbero funzionare da "dottori all'interno delle cellule".

Alcune indicazioni delle potenziali applicazioni terapeutiche delle nanotecnologie sono relative a modalità innovative nella somministrazione di farmaci o geni, allo sfruttamento delle proprietà magnetiche o termiche delle nanoparticelle, a nuovi sviluppi in chirurgia, ingegneria dei tessuti e trapianti.

Innovazioni nella somministrazione di farmaci o geni e sfruttamento proprietà delle nanoparticelle

L'identificazione di nuovi farmaci rappresenta una sfida costante della medicina moderna che, dopo il sequenziamento del genoma umano e i progressi della farmacogenomica, si avvia sempre più verso la "personalizzazione" terapeutica. Una volta ottenuto un nuovo farmaco (anche con l'ausilio di micro e nano array nei processi di *drug screening*), occorre

comunque considerare che risultano sempre più evidenti i limiti della farmaceutica tradizionale, dei dosaggi costanti e unici per i vari individui, mentre le ricerche nella biologia dei sistemi, nella nanomedicina, nella cronofarmaceutica indicano nuovi e più efficienti metodologie di somministrazione dei farmaci. Va aggiunto che delle 35 più diffuse molecole ad attività farmaceutica nel mondo, ben 13 (farmaci antidepressivi, del sistema cardiovascolare, respiratorio e dell'apparato digerente) perderanno la protezione brevettuale nei prossimi 5 anni e ciò sta inducendo molte aziende a investire in queste innovazioni.

Nanosfere, nanocristalli e nanocapsule potrebbero consentire una efficacissima somministrazione dei farmaci: grazie alle loro dimensioni, le particelle superano la barriera delle membrane cellulari, possono essere facilmente assorbite e modificare l'attività degli enzimi di membrana. La loro chimica di superficie può essere modificata in modo da consentire una

alta concentrazione del farmaco, in particolare nel tessuto specifico da trattare. Si può agire anche per ottenere un rilascio ritardato nel tempo del farmaco; in ogni caso, oltre ad una maggiore efficacia terapeutica, si otterrebbe anche una minore tossicità per il paziente, unitamente ad una diminuzione degli effetti collaterali. La barriera emato-encefalica rappresenta spesso un ostacolo insormontabile per l'azione neurologica di numerosi farmaci, dagli antibiotici agli agenti antineoplastici, a diversi neuropeptidi. L'impiego di nanoparticelle naturali o artificiali, recanti i farmaci di interesse, potrebbe essere di aiuto soprattutto nel trattamento di tumori cerebrali disseminati e molto aggressivi, in quanto le nanoparticelle, verosimilmente per il meccanismo di endocitosi, potrebbero superare la barriera a livello delle cellule endoteliali dei capillari cerebrali ³³.

La promessa delle nanotecnologie, in definitiva, sarebbe rappresentata dalla somministrazione del giusto farmaco, nella giusta quantità, nel giusto posto e nel giusto tempo. Alcune delle applicazioni allo studio riguardano, ad esempio, nanocapsule lipidiche contenenti cis-platino, uno dei farmaci più usati nella terapia antitumorale, che possono rappresentare un valido mezzo per affrontare i problemi posti dalla tossicità del farmaco e dalla sua rapida inattivazione nell'organismo, consentendo per endocitosi l'ingresso nella cellula del farmaco concentrato. Anche altri studi condotti su differenti particelle, ossia nanoaggregati doxorubicina-acido folico-polietilenglicole, hanno peraltro mostrato promettenti effetti su cellule cancerose, sia in vitro che in vivo su topi ³⁴. Occorre notare, inoltre, che sono in corso numerose altre ricerche le quali, in considerazione della elevata instabilità di molecole terapeutiche come nucleotidi e proteine, sono rivolte specificamente a indagare il possibile impiego per via parenterale di NP lipidiche carrier. Presso

l'Università di Melbourne sono state invece create capsule potenzialmente in grado di veicolare farmaci antitumorali e di liberarli in seguito ad irraggiamento laser. Le capsule sono state costruite sfruttando le tecniche di assemblaggio layer-by-layer (LbL).

Come è noto, la capacità di assemblare polielettroliti, proteine, acidi nucleici in film sottili dello spessore di pochi nanometri per funzionalizzare superfici, può avere importanti applicazioni biomediche: ad esempio migliorare la biocompatibilità dei materiali impiegati, ridurre la reazione immunitaria, consentire la somministrazione mirata di farmaci. Tra le varie tecniche in uso (deposizione termica, Langmuir-Blodgett, autoassemblaggio chimico ecc.), appare particolarmente promettente la LbL, basata sulla interazione elettrostatica tra strati polimerici aventi carica opposta.

I ricercatori australiani hanno impiegato la LbL per costituire vari strati polimerici, con inglobate NP di oro del diametro di 6 nm, intorno ad una struttura centrale di circa un micron (che potrebbe inglobare il farmaco, una proteina ecc.); sulla capsula così costituita sono stati apposti due strati lipidici funzionalizzati con anticorpi (figura 6). Vari esperimenti hanno condotto alla conclusione che, sfruttando il forte assorbimento nel vicino infrarosso dovuto alla presenza delle NP di oro, è possibile ottenere la rottura della capsula recante il farmaco - negli esperimenti è stato impiegato l'enzima lisozima - mediante impulsi laser (< 10 ns), impiegando energie inferiori a quelle usate, ad esempio, per trattamenti con il laser della pelle o per rimozione tatuaggi. L'irraggiamento non ha causato danni alla proteina incapsulata, mentre si sta studiando la possibilità fabbricare capsule più piccole (100-200 nm), rivestendole con varie molecole per consentirne la specifica localizzazione tumorale, disponibili alla successiva attivazione con laser

in condizioni fisiologiche³⁵. L'angiogenesi rappresenta uno degli aspetti da fronteggiare nelle strategie di lotta al cancro. Le cellule endoteliali dei nuovi vasi sanguigni tumorali esprimono alcuni *marker* specifici potenzialmente utilizzabili per combattere la proliferazione della massa tumorale. Studi su nanoag-

mettenti potenzialità di cura di alcune malattie ereditarie e tumori. Il problema principale della terapia genica è quello di una sicura somministrazione dei geni alle cellule interessate, usando vettori virali e non virali o metodi che prevedono la iniezione diretta nei tessuti del DNA. L'impiego di virus ricombinanti comporta però vari importanti effetti collaterali e la possibilità di non impiegare vettori virali, ma di introdurre nelle cellule DNA plasmidico mediante NP, viene attentamente studiata. NP a base di silicio, provviste di gruppi idrofobici ed idrofilici, marcate con coloranti fluorescenti e a cui era stato legato DNA sia plasmidico che genomico, si sono rivelate capaci di trasferire il materiale genetico sia in cellule in coltura che in cellule neuronali di topo in vivo. Questi studi hanno mostrato la possibilità di seguire le interazioni del DNA introdotto nelle cellule in coltura, sfruttando la fluorescenza delle nanoparticelle: è stata dimostrata la presenza nel nucleo del DNA introdotto, perfettamente funzionale³⁷. Il trattamento chirurgico dei tumori risulta efficace in molti casi, ma la stretta vicinanza di regioni vitali e le ridotte dimensioni cancerose rendono talvolta la chirurgia inadatta. In questi casi può essere utile il trattamento termico (laser, microonde, radiofrequenze, magnetico) della massa tumorale. Si inseriscono in questo filone di ricerca alcune attività che sfruttano NP che mostrano forte assorbimento nell'infrarosso. Esse, distribuite opportunamente nei tessuti, possono trasferire loro una quantità terapeutica di calore, usando basse dosi di luce proveniente da una sorgente infrarossa extracorporea. Formate da una parte centrale di ossido di silicio e una esterna di oro (del diametro totale di circa 100 nm) e impiegate su cellule tumorali umane in coltura e in vivo in topi, hanno mostrato promettenti risultati³⁸. Altre ricerche, effettuate in vitro, si prefiggono invece l'applicazione intratumorale di NP magnetiche per trattamenti

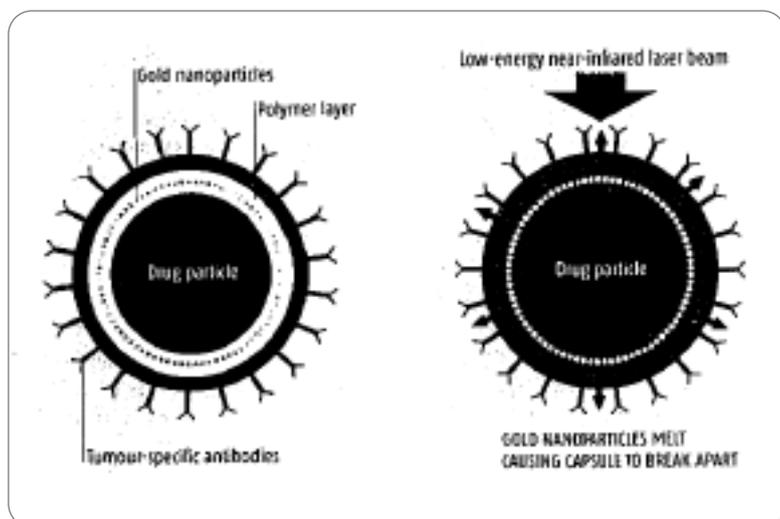


Figura 6
Capsule nanostutturate ad attivazione ottica per rilascio farmaci

Schema di microcapsule recanti sostanze farmacologiche, costituite da vari strati polimerici biocompatibili/biodegradabili con incluse nanoparticelle di oro e strato esterno funzionalizzato per consentire il loro accumulo in tessuto tumorale. Mediante eccitazione con impulsi laser (<10 ns) nel vicino infrarosso, la capsula viene rotta e il materiale farmacologico liberato

Fonte: New Scientist, 8 jan. 2005

gregati autoassemblanti, da impiegare come carrier di un peptide sintetico capace di interagire con i marker angiogenici, sono apparsi promettenti sia in vitro che in vivo su topo³⁶.

Un approccio interessante nella veicolazione dei farmaci è anche quello della ingegnerizzazione di quelle molecole organiche chiamate dendrimeri che, opportunamente trasformate, possono costituire uno strumento di analisi e somministrazione di farmaci. I dendrimeri hanno generalmente forma sferica e posseggono una cavità centrale in cui può essere inserito il farmaco, intrappolato fisicamente; ma il farmaco può anche essere legato covalentemente in superficie. Queste interessanti molecole complesse, la cui sintesi può essere governata fino a raggiungere la dimensione desiderata, non sono immunogeniche e possono essere impiegate anche come vettori non virali di DNA utili nella terapia genica. La terapia genica possiede pro-

ipertermici previa esposizione a campi magnetici alternati.

QD di CdSe funzionalizzati con specifici anticorpi si sono rivelati capaci di sensibilizzare cellule leucemiche trattate con raggi UV e di incrementare gli effetti di agenti fotosensibilizzanti convenzionali. Anche se occorre approfondire gli effetti citotossici, peraltro bassi, sulle cellule normali degli ioni liberi di Cd generati dalla irradiazione, la specifica localizzazione nelle cellule tumorali dei QD potrebbe minimizzare tali effetti ³⁹.

Innovazioni in chirurgia, "tissue engineering" e impianti terapeutici

Il progredire delle conoscenze ha reso la moderna chirurgia progressivamente sempre meno invasiva; i recenti sviluppi dell'impiego del laser a impulsi ultrarapidi (femtosecondi) costituiscono un esempio in questa direzione. Il contributo possibile delle nanotecnologie può essere identificato nella produzione di nuovi materiali, di strumentazione a scala nano per interventi su singole cellule (che potrebbe essere di enorme beneficio in neurochirurgia, ad esempio), nella chirurgia ricostruttiva e nel "tissue engineering", oltre che in nuove sinergiche integrazioni con robotica e informatica (nanomanipolatori, ciberchirurgia). Esistono in Europa diverse realtà di ricerca molto attive in questi settori, che hanno come obiettivo lo sviluppo di nuovi composti bioadesivi, nuovi materiali biocompatibili, nanomanipolatori, integrazioni con tecnologie avanzate a supporto del chirurgo, come ad esempio il gruppo di K. Radermacher in Germania (<http://www.hia.rwth-aachen.de>). Si profila una chirurgia con potenzialità di intervento in scala sempre minore ed innovative strumentazioni, che verrebbe anche a differenziarsi sul piano concettuale da quella tradizionale: interventi sulla biologia delle cellule piuttosto che per rimuovere o riparare organi e tes-

suti. Si parla infatti di biochirurgia, che opererebbe a scala nanometrica, con tempi infinitesimali (femtosecondi) all'interno della cellula per modificarne la biologia. Il chirurgo non "terrà nella mano il bisturi", non "sentirà" il tessuto (appositi sensori gli daranno la capacità di apprezzare forze anche 10.000 volte minori delle nostre capacità di percezione), non "vedrà" strutture (sfruttando le potenzialità offerte dall'*imaging* molecolare), forse impianterà un chip o farà "crescere" in situ un nuovo organo ⁴⁰.

Un sistema che sfrutta un nanoago posto su cantilever di MFA, potendo in contemporanea avere immagini in contrasto di fase e in fluorescenza, può consentire un intervento chirurgico sofisticato su singola cellula vivente e trasferire ad essa (modificando opportunamente la superficie del nanoago) acidi nucleici, proteine o farmaci. Il nanoago (lungo circa 6 μm e diametro 200-300 nm) è stato sperimentato su alcune cellule umane, mostrando notevoli vantaggi rispetto ai microcappillari, data l'accuratezza del sistema e le ridotte dimensioni, mentre risultavano trascurabili i danni riportati dalle cellule ⁴¹. Tessuti o organi fortemente danneggiati o con precaria funzionalità possono recare seri danni all'organismo. In questi casi la pratica medica ricorre ai trapianti, ad impianti artificiali o all'uso di macchinari esterni per mantenere le funzioni vitali. Tali rimedi posseggono tuttavia alcune limitazioni, legate alla scarsa disponibilità di donatori, agli effetti degli immunosoppressori e alla durata limitata degli impianti. Il "tissue engineering", settore interdisciplinare biotecnologico-ingegneristico (coinvolge competenze in biologia cellulare, scienza dei materiali, ingegneria dei bioreattori, medicina), si prefigge appunto di sviluppare sostituti biologici che possano restaurare, mantenere o migliorare le funzioni dei tessuti o organi. Esso è costituito da tre componenti: le cellule, i fattori di crescita e il substrato che

agisce da supporto per la crescita delle cellule nel modo appropriato. Tra i vari tipi di cellule, quelle staminali (embrionali e adulte) posseggono grandi potenzialità di impiego, mentre molto importanti sono i materiali da impiegare come substrato. Di questi vengono utilizzati sia quelli naturali (collagene per pelle, alginati per cartilagine, tessuto cardiaco) che, preferibilmente, quelli sintetici (polimeri e copolimeri di acido lattico e glicolico, di idrossibutirrato e idrossialcanoato). Un aspetto determinante, una volta scelto il materiale, è rappresentato dalla struttura superficiale e dalla porosità che occorre dare al substrato per consentire una crescita ottimale delle cellule. Il contributo delle nanotecnologie a questo settore, peraltro limitato per il momento ad aspetti di ricerca fondamentale, si manifesta da un lato con l'impiego di metodi di analisi a scala nano (MFA) per una migliore comprensione delle interazioni delle cellule tra loro e con la matrice, e dall'altro mediante i metodi della nanofabbricazione per la produzione di nuovi substrati, per migliorare l'adesione e la biocompatibilità con le cellule. Di pari passo sono inoltre previsti studi per fornire informazioni relative alla tossicità e biocompatibilità: ad esempio, ricerche condotte su nanofibre di carbonio impiantate nel tessuto sottocutaneo in ratti non hanno mostrato, dopo quattro settimane, reazione infiammatoria acuta, non hanno indotto necrosi o elevata invasione di neutrofili, sebbene sia stata riscontrata presenza di macrofagi. Potenziali applicazioni derivanti dalla chirurgia ricostruttiva, "tissue engineering" e nanotecnologie saranno quindi volte a rigenerare pelle, cartilagini, ossa e forse organi; mentre le protesi potranno essere sviluppate con interfacce a nanopori, aumentando l'integrazione delle strutture artificiali con i tessuti viventi. Alcuni articoli in letteratura mostrano in particolare le potenzialità dell'impiego di nanofibre e nanotubi in impianti neurologici e orto-

pedici. Un *team* della Northwestern University di Chicago ha usato un pentapeptide che, iniettato nel tessuto nervoso di ratto, origina nanofibre aventi la capacità, in presenza di cellule progenitrici neuronali, di stimolarne la crescita. Gli studi hanno mostrato che le nanofibre inducono una rapida differenziazione delle cellule in neuroni, evidenziando la possibilità di sostituire cellule nervose danneggiate o degenerate ⁴². Ricercatori della Purdue University (USA) lavorano con nanofibre di carbonio per migliorare le prestazioni di impianti neurologici e ortopedici, mentre anche l'impiego di nanotubi organici per il rivestimento di impianti ortopedici di Ti si è rivelato particolarmente vantaggioso nello stimolare l'adesione di osteoblasti.

Anche nel settore degli impianti attivi, aventi cioè una propria sorgente energetica, può essere intravisto il contributo delle nanotecnologie. Attualmente esistono impianti che ristabiliscono una percezione (come gli impianti cocleari e retinici), altri che ristabiliscono il controllo su alcune funzioni (stimolatori cardiaci, vescicali e neurali), altri ancora svolgono funzioni diagnostico-terapeutiche. Le nuove generazioni di impianti attivi potrebbero trarre beneficio dall'integrazione tra diverse tecnologie (elettronica, materiali nanostrutturati, telematica). In particolare l'impiego di materiali nanostrutturati, il trattamento delle superfici, ad esempio nel caso di impianti di retina artificiale, potrebbero migliorare le caratteristiche degli elettrodi, poiché i materiali nanoporosi consentono un notevole aumento di superficie; oppure, nel caso di impianti cocleari, rivestimenti nanostrutturati con funzioni antimicrobiche potrebbero fronteggiare i problemi posti dal rischio di infezioni ^[1]. Anche nel caso di impianti neurali, nanomodificazioni delle superfici dei materiali possono migliorare la funzionalità delle interfacce elettriche, l'integrazione coi tessuti adiacenti e la stabilità nel tempo ^[2].

Convergenze tecnologiche, scenari futuristici

La crescente integrazione dell'informatica con le scienze della vita, con lo studio dei geni e delle biomolecole, con la medicina, ha aumentato notevolmente la velocità e la qualità delle acquisizioni scientifiche, ma una sempre più estesa integrazione sinergica, una vera convergenza è apparsa possibile tra le più dinamiche aree di avanzamento tecnologico, rappresentate dalle nanotecnologie, biotecnologie e tecnologie dell'informazione e della conoscenza (NBIC). Nel dicembre 2001 la National Science Foundation negli USA focalizzava in un convegno le potenzialità di queste convergenze, che potrebbero migliorare le prestazioni dell'uomo, incidere fortemente sulla qualità della vita, avere un notevole impatto sociale ed economico. Le convergenze NBIC attraggono notevoli finanziamenti, oltre che negli USA, anche in Europa e Giappone ed appaiono, anche alla luce dei dati e delle riflessioni presenti in letteratura, davvero in grado di segnare un punto di svolta, una di quelle "onde lunghe" dello sviluppo tecnologico ed economico che si sono verificate negli ultimi secoli, dalla meccanizzazione, all'elettrificazione, alla motorizzazione, all'informatica. L'UE, conscia del fatto che le convergenze tecnologiche incideranno fortemente sulla "vita di tutti i giorni" della società nel prossimo futuro, ritiene importante darsi una propria agenda per affrontare questa complessa tematica, privilegiando un forte interscambio tra la ricerca, la tecnologia, i valori etici e la società nel suo complesso [3].

L'intervento delle convergenze NBIC nelle applicazioni biomediche appare indirizzato non solo a finalità terapeuti-

che, per il miglioramento delle prestazioni dell'uomo e della qualità della vita, ma anche a un incremento vero e proprio delle prestazioni e - secondo alcune prospettazioni - anche a interventi sui processi evolutivi. Nel primo caso le convergenze NBIC agirebbero per la cura di malattie, infortuni e per la soluzione di situazioni patologiche legate a difetti genetici: ad esempio nuove protesi per visione e udito, interventi su cellule neurali per contrastare paralisi motoria o malattie degenerative tipo Alzheimer, clonazione organi, vaccini genetici ecc. Nel secondo caso gli interventi NBIC si configurerebbero come strumenti per ottenere prestazioni super umane, tra cui: visione notturna a infrarosso, aumento capacità mnemonica, ampliamento spettro uditivo, strumenti cibernetici per comunicazione uomo-macchina ecc. Infine, in un arco temporale più esteso ma che reca con sé numerosi interrogativi di natura etica e sociale, interventi in vitro per conferire all'uomo aumento della memoria, dell'intelligenza, della velocità e di altre caratteristiche fisiche e comportamentali [4]. Alcuni autori si sono cimentati in particolare nell'immaginare le prospettive di un allungamento notevole della vita umana, grazie alle potenzialità che nei prossimi decenni potrebbero essere offerte dalle intersezioni delle nuove tecnologie [4].

Esistono alcuni progetti, lanciati negli USA, che appaiono ulteriormente utili per illustrare alcune delle potenzialità legate alle convergenze tecnologiche. Ad esempio *The Human Genome Project*, attivato qualche anno fa al fine di espandere le capacità di conoscenza dell'uomo e la comunicazione, per la comprensione della struttura e delle funzioni mentali.

[1] H. Schmidt, 3rd NanoMed Conference on medical applications of Nanotechnology, Berlin 2003.

[2] T. Stieglitz, 3rd NanoMed Conference on medical applications of Nanotechnology, Berlin 2003.

[3] EC, Directorate General for Research, *Converging Technologies: shaping the future of european societies*. By A. Nordmann. 2004.

[4] R. Kurzweil & T. Grossman. *Fantastic Voyage: Live long enough to live forever*. Rodale Ed., 2004.

I progressi nelle neuroscienze cognitive umane sono stati ottenuti mediante nuove metodologie di ricerca basate sulla risonanza magnetica funzionale, ma ulteriori progressi saranno possibili solo con una integrazione con le tecnologie NBIC, per ottenere maggiore risoluzione nelle immagini, maggiore sensibilità e capacità di analizzare i dati ottenuti. Una migliore comprensione della nostra mente potrebbe consentire agli ingegneri di progettare tecnologie in grado di aumentarne le potenzialità, in modo più efficace ed efficiente. Migliorare la capacità di "imparare ad imparare", attraverso l'integrazione delle tecnologie NBIC, consentirà notevoli progressi non solo nelle fasi infantili e adolescenziali, ma durante tutto il corso della vita; qualche autore propone l'adozione di mappe cognitive e del linguaggio visuale, con stretta integrazione di parole ed elementi visivi.

Anche la comunicazione tra le persone potrà essere influenzata dalle convergenze tecnologiche: il progetto "Communicator" consentirebbe una gestione integrata dei dati relativi allo scambio di informazioni tra individui e che avrebbe perfino, nelle intenzioni dei proponenti, la possibilità di monitorare lo stato d'animo e fisiologico dei partecipanti. Le nanotecnologie sarebbero qui impiegate per produrre componenti a basso consumo energetico, portabili dalle persone, e capacità di calcolo ultrarapide; le biotecnologie fornirebbero le necessarie interfacce biologiche per il monitoraggio delle condizioni delle persone, le tecnologie dell'informazione si occuperebbero della trasmissione e gestione dei dati (traduzioni ecc.), le scienze cognitive concorrerebbero alla migliore comprensione ed amalgamazione delle diverse modalità di apprendimento e comunicazione. Queste brevi illustrazioni sulle conver-

genze tecnologiche spingono a una riflessione ulteriore sulle prospettive future delle applicazioni delle nanoscienze alla biotecnologia e alla medicina, considerando il lavoro di R. Freitas sulla nanomedicina. Questo autore USA^[5] definisce la nanomedicina come l'insieme delle attività di monitoraggio, riparazione, costruzione e controllo dei sistemi biologici umani a livello molecolare, usando specifici nanostrumenti e nanostrutture. Egli aggiunge che tali potenzialità saranno reali quando sarà possibile lo sviluppo di nanomacchine e nanorobot precisamente programmabili e controllabili. Freitas ricorda che ricerche volte alla loro progettazione vengono già condotte in diversi laboratori. Robot a scala micro, con componenti nano consentirebbero in un prossimo futuro, secondo Freitas, interventi rivoluzionari in medicina, a livello cellulare e molecolare. Mentre le più precoci applicazioni commerciali dei nanorobot in medicina vengono prefigurati per il secondo decennio del XXI secolo, l'autore sostiene che per lo sviluppo delle più interessanti nanotecnologie mediche bisognerà guardare alla fine del secolo. La disponibilità di nanotecnologie molecolari consentirà alla nanomedicina straordinari interventi, con implicazioni per la professione medica, per la definizione di malattia, per la diagnosi e il trattamento delle malattie, con il miglioramento e l'estensione della struttura e funzione biologica dell'uomo. Il libro di Freitas *Nanomedicine* tratta, dal punto di vista teorico-tecnico, argomenti relativi alle applicazioni mediche della nanotecnologia molecolare e alla progettazione di nanostrumenti medici. In esso vengono analizzati i limiti fisici, chimici, termodinamici e biologici dei nanorobot. Successivamente vengono considerati gli aspetti di biocompatibilità, includendo quelli

^[5] Fisico, vincitore dal 2000 del premio annuale Feynman per le Nanotecnologie, Associate Editor del Journal of Evolution and Technology, autore nel 1998 del primo articolo tecnico sulla progettazione di una nanostruttura per uso medico apparso su una rivista medica peer-reviewed, collaboratore del Foresight Institute, autore del libro "Nanomedicine", articolato in quattro volumi di cui il primo pubblicato nel 1999, il secondo nel 2003.

meccanici, fisiologici, immunologici, citologici e biochimici, relativi alle interazioni tra nanorobot e tessuti e cellule del corpo umano.

L'opera esamina inoltre, tra l'altro, i fattori di scala nella progettazione dei nanosistemi biomedici, i sistemi di controllo, le interazioni ambientali, i sistemi complessi nanorobotici per riparazioni cellulari e ingegneria di tessuti. L'autore, nell'ultimo volume di *Nanomedicine*, (la cui pubblicazione formale è prevista nel 2007) intende esporre infine, tra le applicazioni, visioni prospettiche sui trattamenti delle principali malattie, su nuovi metodi chirurgici e terapeutici che il medico del futuro si troverebbe ad affrontare, alle prese con nanorobot e nanostrutture. Freitas sostiene che, dato che al momento queste nanomacchine non sono prodotte, è necessario poter dimostrare la loro fattibilità sia dal punto di vista costruttivo che operativo; egli ritiene di aver risolto, con il suo contributo, le obiezioni che vari studiosi hanno mosso anche sul piano teorico alla possibilità di costruire nanorobot. La visione futuristica di Freitas si spinge ad immaginare la semplice somministrazione ai pazienti di qualche ml di sospensione contenente alcune migliaia di miliardi di nanorobot di dimensioni micrometriche, per affrontare i problemi medici più svariati, inclusi quelli legati all'invecchiamento. Viene ricordato, a tale proposito, lo studio fatto sulla fattibilità di un globulo rosso artificiale, il cosiddetto *respirocita*. Si tratta del progetto preliminare di una nanostruttura di carbonio del diametro di circa un micron, in grado di raddoppiare le capacità di trasporto di O_2 e CO_2 rispetto ai normali globuli rossi, avente un nanocomputer inglobato, provvisto di sensori chimici, termici e pressori e che sfrutterebbe il glucosio del sangue come sorgente di energia. Freitas sostiene che la nanomedicina potrebbe in teoria eliminare tutte le più comuni malattie del XX

secolo ed espandere e migliorare notevolmente le capacità della mente umana. A questo proposito egli considera che una memoria nanostrutturata del volume di circa $8000 \mu^3$ (pari a quello di una cellula epatica e più piccolo di un neurone) potrebbe immagazzinare informazioni corrispondenti ad una intera biblioteca. Tale memoria, impiantata nel cervello con le appropriate interfacce, consentirebbe prestazioni inimmaginabili; l'autore prefigura anche l'impiego di nanocomputer aventi dimensioni pari a quelle di una cellula, con potenzialità super e calore di dissipazione trascurabile, in confronto con quello dell'intero cervello in cui andrebbero impiantati.

Quali possibili rischi

Le varie e talvolta entusiasmanti potenzialità delle applicazioni biomediche delle nanotecnologie e delle convergenze tecnologiche non fanno trascurare i rischi potenziali ad esse legati e focalizzati in primo luogo sulla tossicità delle NP. Va detto che particelle di diametro inferiore a 70 nm, se presenti nelle mucose degli alveoli polmonari, vengono difficilmente riconosciute come "estrane" dal sistema immunitario; inoltre anche materiali di per sé non tossici, se presenti nell'organismo come NP mostrano effetti negativi. In genere, più piccole sono le particelle più sembrano essere tossiche e ciò non deve sorprendere, se si considera che esse sono dotate di una grande superficie e quindi sono molto reattive e cariche elettricamente. Vari ricercatori hanno in corso studi sull'argomento; ad esempio sono stati trovati danni al polmone di topo e ratto, originati da nanotubi che si agglomeravano nei tessuti, facendo ritenere queste NP altamente tossiche per inalazione⁴⁴. L'impiego di NP in creme solari pone anche la necessità di verificare eventuali rischi legati all'assorbimento attraverso la pelle: uno studio ad esempio

ha mostrato che particelle di diametro fino a 1 μ vengono assorbite dal sistema linfatico.

Le vie di accesso sono quindi rappresentate dalle mucose, dalla pelle, oltre che dall'apparato digerente; una volta nel sangue le NP possono essere distribuite nel corpo e si possono anche registrare fenomeni di accumulo in alcuni organi, ad esempio nel fegato. Altro aspetto degno di attenzione, nella valutazione dei rischi, è rappresentato dalla barriera ematoencefalica: essa deve essere superata dalle nuove medicine aventi come organo bersaglio il cervello, ma cosa accadrebbe con altre NP eventualmente presenti nel sangue? Alcuni autori ricordano inoltre il potenziale fortemente reattivo delle NP, che può dare luogo alla formazione di radicali liberi, notoriamente dannosi per molte attività cellulari, mentre va considerata anche la possibilità che proteine normalmente presenti nel sangue possano legarsi a NP, modificando in tal modo la propria struttura e le relative proprietà, con effetti non previsti e indesiderati. In ogni caso sono necessari approfonditi studi per la valutazione degli eventuali rischi per la salute (soprattutto malattie cardiopolmonari) legati ad una prevedibile, crescente diffusione nell'ambiente delle NP⁴⁵⁻⁴⁷. Il semplice fatto che, a scala nano, la materia vivente e quella inanimata, il cervello umano, un virus, un granello di polvere siano qualitativamente simili, ossia costituiti da atomi, ha eccitato l'immaginazione di molti scienziati, tecnologi, pensatori, manager e governanti. Si è giunti così, come si è visto, ad ipotizzare convergenze delle varie tecnologie per sfruttarne al massimo le potenzialità. Le nanoscienze consentiranno pertanto all'uomo di manipolare la materia a livello molecolare, saltando il confine tra materia inanimata e animata, realizzando per alcuni aspetti quelle attività che i batteri hanno svolto per milioni di anni; le bioscienze consentiranno, con i progressi delle cono-

scienze sul genoma e proteoma umano, nuovi interventi diagnostici e terapeutici; le scienze dell'informazione renderanno sempre più pervasive la comunicazione e l'informazione; le neuroscienze renderanno più comprensibili i sistemi di elaborazione delle informazioni nella mente dell'uomo; le scienze sociali forniranno maggiore conoscenza sulle modalità di diffusione delle informazioni nel corpo sociale.

Secondo alcuni, in tal modo si potrebbe passare dalla possibilità di controllo a scala nano della materia al controllo delle funzioni biologiche, fisiologiche dei vari organismi viventi, incluso l'uomo, al controllo quindi della salute e del comportamento degli individui. L'epilogo della vicenda potrebbe essere, in definitiva, anche il controllo della società nel suo complesso, mediante il coinvolgimento delle tecnologie della informazione, della comunicazione e della conoscenza.

La possibilità di diagnosi precoci attraverso precise indagini genetiche a livello molecolare e il progresso atteso nella cura di molte malattie, nel mentre originano proficue aspettative, sollevano anche alcuni interrogativi: come saranno gestite le informazioni? Insorgeranno possibili discriminazioni basate sulla variazione (o deviazione?) da quella che potrebbe essere percepita come la "normalità" genotipica? Come verrà valutato chi non potrà (o non vorrà) sottoporsi ad accertamenti o a cure che altri riterrebbero necessarie? Ci saranno delle caratteristiche genetiche e/o comportamentali che la società riterrà indesiderabili e indesiderate? Analoghi interrogativi possono essere posti per le altre applicazioni derivanti dalle varie convergenze tecnologiche. Ad esempio, chi avrà accesso ai trattamenti che aumenterebbero l'intelligenza, la memoria, le prestazioni psico-fisiche in generale? La neurotecnologia, con le sue progettate capacità di influenza sul sistema nervoso centrale e sul cervello

umano solleva più di un interrogativo ⁴⁸. Inoltre la riconosciuta, elevata potenzialità delle convergenze tecnologiche come strumento di connessione sinergica delle conoscenze, ha portato alcuni a presumere la possibilità di disporre di una scienza predittiva del comportamento societale: la socio-tecnologia.

Essa rappresenterebbe la convergenza delle informazioni delle scienze della vita, delle scienze del comportamento (psicologia e studio della cognizione) e delle scienze sociali, integrate con i nuovi strumenti offerti dalle nanotecnologie, ingegneria, scienze dell'informazione ⁴⁹. In pratica si avrebbe un flusso logico informativo, interpretativo e predittivo, dall'ambiente e dai valori culturali e sociali verso i dati ottenuti con la genomica e la fisiologia umana e viceversa.

Nel grafico successivo (figura 7), gli autori riportano due possibili traiettorie nello sviluppo della conoscenza. Quella in alto mette insieme le varie culture (biologiche, sociali e comportamentali) per giungere ad una scienza predittiva del comportamento, quella inferiore mostra i progressi nel tempo delle scienze del comportamento e sociali, con minori integrazioni tecnologiche e che reca maggiori capacità descrittive, ma non predittive.

La socio-tecnologia, secondo gli autori, consentirà di prevedere i fenomeni e di intervenire per "contrastare comportamenti indesiderabili prima che arrechino danni ad altri e per incoraggiare comportamenti positivi". Esistono quindi vari aspetti etici e sociali che vanno presi in considerazione e che vanno dalla tutela della *privacy* all'accesso alle nuove tecnologie; la transizione dal mondo pre-nano a quello post-nano potrebbe essere traumatica ed esacerbare i problemi tra chi ha e chi non ha, con aspetti tutti da valutare anche per le conseguenze sull'economia e sull'occupazione. Appare necessario un approccio multidisciplinare per la comprensione delle vaste implicazio-

ni sociali, etiche e legali che ruotano intorno alle convergenze tecnologiche, considerando che per implicazioni sociali va inteso sia l'impatto delle tecnologie sulla società che le varie modalità con cui i gruppi sociali, i mercati, le istituzioni possono influire sul loro sviluppo.

Conclusioni

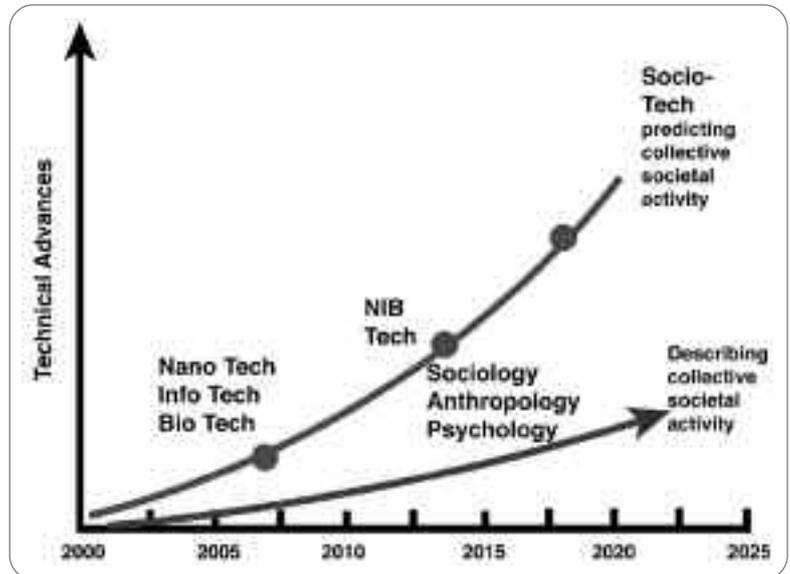


Figura 7
La socio-tecnologia
Fonte: ref. (Yonas 2002)

Tutti i fenomeni biologici fondamentali si svolgono in scala nano: nelle cellule avvengono la sintesi proteica e gli altri processi metabolici che vedono coinvolti in ultima analisi atomi e molecole. Vengono prodotti in tal modo i tessuti biologici, sotto il controllo genetico, partendo da macromolecole (principalmente proteine), carboidrati, lipidi, e creando sistemi complessi interagenti nell'organismo. L'intervento di modificazioni genetiche o di agenti esterni (infettivi, chimici, fisici) altera l'espressione genica e il normale funzionamento della complessa rete di relazioni sistemiche: in tessuti malati si possono rilevare proteine o molecole anomale, consentendo con una analisi multiparametrica del sangue di avere utili informazioni diagnostico-terapeutiche. Il progresso nelle conoscenze di biologia

molecolare e nelle nanoscienze, le integrazioni e convergenze tecnologiche stanno rendendo sempre più verosimile la possibilità di poter seguire “molto da vicino” le alterazioni nel funzionamento dei complessi sistemi presenti nel corpo umano. Si parla quindi di *imaging*, diagnostica, terapeutica molecolare.

La medicina, soprattutto nel mondo industrializzato con popolazioni aventi una durata media della vita più lunga, si è trovata a rivolgere sempre più l'attenzione verso le malattie croniche rispetto alla lotta alle malattie acute trasmissibili. La riflessione sulla loro differente patogenesi - iniziali alterazioni funzionali delle cellule nel primo caso, strutturali nel secondo - ha posto in evidenza il ruolo della trasmissione naturale delle informazioni nell'organismo.

Ciò ha portato alla conclusione che in molte malattie si registrano alterazioni nella trasmissione di informazioni, la cui conoscenza potrebbe condurre a diagnosi molto precoci, specie nel caso di malattie degenerative o croniche in cui può essere presente una lunga fase asintomatica. Le informazioni veicolate all'interno di cellule, organi e sistemi e tra di loro sono numerose e varie (elettriche, elettrochimiche, biochimiche, meccaniche, strutturali ecc.) e alcuni autori suggeriscono ipotesi per nuovi approcci terapeutici che interverrebbero sulla distorsione della trasmissione di queste informazioni. Nei modelli proposti - che si avvarrebbero di nanocomputer inseriti nell'organismo, in grado di interagire con le informazioni e i processi in un determinato biosistema - esisterebbe la possibilità di un monitoraggio continuo profilattico, ed eventuale diagnosi e trattamento precoce. I nanocomputer sarebbero in grado di analizzare il flusso di informazioni sopra ricordato e di interagire con esso, in sostituzione o in aggiunta a trattamenti convenzionali.

^[6] M. Ferrari. *The cancer nanotechnology plan. A roadmap for the deployment of nanotechnology in the fight against cancer*, EuroNanoForum, Trieste, 2003.

Un'esemplificazione di tali modelli innovativi è stata peraltro citata a proposito del computer molecolare di Benenson et al. nel paragrafo delle applicazioni terapeutiche. D'altra parte anche le considerazioni che scaturiscono da ricerche afferenti a discipline come la biologia dei sistemi e la biologia sintetica, nelle loro interrelazioni con le nuove tecnologie, confermano nel complesso un potenziale fortemente innovativo nella medicina.

In ogni caso, una maggiore conoscenza dei processi biologici a livello molecolare e delle loro alterazioni, la possibilità di identificare e visualizzare col *molecular imaging* tali alterazioni, la possibilità di intervenire e modificarle avvalendosi anche della convergenza di saperi e tecnologie un tempo distanti, consente pertanto di immaginare, per i prossimi anni, una trasformazione sempre più spinta della medicina, da reattiva a predittiva, preventiva e personalizzata.

Il National Cancer Institute (USA) prevede per il 2015 una presenza significativa in clinica di prodotti multifunzionali derivanti dalle nanotecnologie per la prevenzione, diagnosi precoce e trattamento delle neoplasie ^[6], mentre nuovi approcci terapeutici, scaturenti da convergenze tra nanotecnologie, informatica, scienze cognitive vengono immaginati per malattie neurodegenerative.

Abbiamo visto infatti come le applicazioni biomediche derivanti dalle nuove tecnologie siano particolarmente promettenti sia nel settore diagnostico che in quello terapeutico. L'impiego di NP funzionalizzate, lo sviluppo di sensori avanzati e sistemi nanofluidici, può consentire il monitoraggio delle molecole di interesse anche a bassissime concentrazioni, inferiori alle femtomoli; si punta infatti alla individuazione di una singola molecola. Attraverso le tecnologie array a rilevazione multipla, sia in forma di chip che median-

te cantilever funzionalizzati di MFA, si prospetta la possibilità di sviluppare piattaforme in grado di analizzare numerosi parametri su quantità minime di campione, con sensibilità estremamente elevate. Le tecniche di visualizzazione, già oggi raffinate, potranno spingersi ben oltre, sfruttando i nuovi sviluppi in biologia molecolare in combinazione con le nanotecnologie, consentendo la possibilità di un *imaging* a livello molecolare, con riflessi importanti sia nella diagnosi che nell'ampliamento delle potenzialità di identificazione di nuovi farmaci.

Innovazioni nella somministrazione di farmaci o geni mediante NP, trattamento di alcuni tumori sfruttando specifiche proprietà delle NP, appaiono tra le applicazioni allo studio particolarmente promettenti. Ulteriori contributi terapeutici potranno aversi nella produzione di nuovi materiali, di strumentazione a scala nano per interventi su singole cellule (che potrebbe essere di enorme beneficio in neurochirurgia, ad esempio), nella chirurgia ricostruttiva e dal "tissue engineering". Ma la convergenza NBIC tra nanotecnologie, biotecnologie, tecnologie dell'informazione e scienze della conoscenza, secondo alcuni progetti al centro di ingenti finanziamenti, potrebbe portare oltre che il miglioramento della efficacia dei nuovi trattamenti terapeutici, anche un incremento vero e proprio delle prestazioni della "macchina umana" o addirittura incidere sulla sua evoluzione.

Tutto ciò, oltre che richiedere una valutazione attenta e preventiva degli eventuali rischi associati nonché degli aspetti etici relativi ai vari impieghi, potrebbe comportare anche un notevole impatto sull'economia e sulla società. L'UE, attraverso il network Nanoforum, e la Commissione Europea hanno pub-

blicato nel 2003-2004 interessanti rapporti sulle implicazioni sanitarie delle nanotecnologie e sui rischi, benefici, aspetti etici e sociali ad esse associati^[7]. Per la Commissione Europea le implicazioni etiche costituiscono una priorità di ricerca nel Programma "Scienza e Società" e i risultati delle ricerche devono essere sempre disponibili alla visibilità della comunità internazionale.

Si auspica inoltre la necessità di un costante dialogo tra sociologi, ricercatori e pubblico su questi temi, mentre va aggiunto che per ogni beneficio atteso ci può essere una conseguenza non prevista e che il successo delle nanotecnologie, delle convergenze tecnologiche e delle relative applicazioni non può essere determinato solo da una buona ricerca nei laboratori: gli utilizzatori della tecnologia e il pubblico in generale chiedono risposte sulle implicazioni sanitarie, ambientali, economiche e sociali.

In un contesto di elevata competitività globale, poter cogliere precocemente queste opportunità, pur se con le dovute cautele, può consentire all'Europa di armonizzare la crescita economica con i valori della diversità, della giustizia sociale, della sicurezza internazionale e della responsabilità ambientale.

Bibliografia

1. P. XIONG et al. *Hall magnetometry on a single iron particle*. Appl. Phys. Lett., 80, 4644, 2002.
2. P. XIONG et al. *Development, functionalization and assembly of nanoscale biological sensors*. Proceedings NSF Grantees Conference, p. 123, Dec. 2003.
3. J.W. HONG et al. *A nanoliter scale nucleic acid processor with parallel architecture*. Nature Biotechnology, 22, 435-9, 2004.

^[7] - Nanotechnology and its implications for the health of the EU citizen. Dec. 2003, www.nanoforum.org.

- Benefits, risks, ethical, legal and social aspects of nanotechnology. June 2004, www.nanoforum.org.

- EC, Directorate General for Research, *Converging Technologies: shaping the future of european societies*. By A. Nordmann. 2004.

4. B.A. BAIRD. *The Nanobiotechnology Center at Cornell University: a status report*. Proceedings National Nanotechnology Initiative. Washington, Usa, march 2004.
5. R.J. HAMERS et al. *Nanotubes and nanowires as chemical and biological sensors : approaching the single molecule limit*. Proceedings NSF Grantees Conference, p. 27, dec. 2003.
6. P. KOHLI, C. MARTIN. *Smart nanotubes for biomedical and biotechnological applications*. Drug News Perspect, 16, 566-73, 2003.
7. P. KOHLI et al. *DNA-functionalized nanotube membranes with single-base mismatch selectivity*. Science, 305, 984-6, 2004.
8. N. NURAJE et al. *Biological bottom-up assembly of antibody nanotubes on patterned antigen arrays*. J. Am. Chem. Soc., 126, 8088-9, 2004.
9. P.W. BARONE et al. *Near-infrared optical sensors based on single-walled carbon nanotubes*. Nature Materials, 4, 86-92, 2005.
10. JWA-MIN NAM et al. *Bio-bar-code-based DNA detection with PCR-like sensitivity*. J. Am. Chem. Soc. 126, 5932-3, 2004.
11. X. WU et al. *Immunofluorescent labelling of cancer marker Her2 and other cellular targets with semiconductor quantum dots*. Nature Biotechnology, 21, 41-46, 2003.
12. JM NAM et al. *Nanoparticle-based bio-bar codes for the ultrasensitive detection of proteins*. Science, 301, 1884-6, 2003.
13. D.G. GEORGANOPOULOU et al. *Nanoparticle-based detection in cerebral spinal fluid of a soluble pathogenic biomarker for Alzheimer disease*. PNAS, 102, 2273-6, 2005.
14. X. GAO et al. *Molecular profiling of single cells and tissue specimens with quantum dots*. Trends in Biotechnology, 21, 371-3, 2003.
15. P. ALMISATOS. *The use of nanocrystals in biological detection*. Nature Biotechnology, 22, 47-52, 2004.
16. New Scientist. *Nanotech spy eyes life inside the cell*. P.22, 31 jan. 2004.
17. M.A. COELHO et al. *Nanocapsules with functionalized surfaces and walls*. IEEE Transactions on Nanobioscience, 3, DOI 10.1109/TNB.2004.824277, march 2004.
18. J. NAKANE et al. *Evaluation of nanopores as candidates for electronic analyte detection*. Electrophoresis, 23, 2592-2601, 2002.
19. J. NAKANE et al. *A nanosensor for transmembrane capture and identification of single nucleic acid molecules*. Biophysical Journal, 87, 615-21, 2004.
20. S. HOWORKA et al. *Sequence-specific detection of individual DNA strands using engineered nanopores*. Nature, 19, 636-9, 2001.
21. M. KARHANEK et al. *Single DNA molecule detection using nanopipettes and nanoparticles*. Nano Letters, a-e, nov. 24, 2004.
22. S. WOOD et al. *Scientific context*. In « *The social and economic challenges of nanotechnology* ». Economic & Social Research Council, UK, 2003.
23. P. FROMHERZ. *Electrical interfacing of nerve cells and semiconductor chips*. Chemphyschem. 3, 276-84, 2002.
24. Y. ARNTZ et al. *Label-free protein assay based on a nanomechanical cantilever array*. Nanotechnology, 14, 86-90, 2003.
25. B. IJIC et al. *Attogram detection using nanomechanical oscillators*. J. Appl. Phys. 95, 3694-3703, 2004.
26. KI-BUM LEE et al. *The use of nanoarrays for highly sensitive and selective detection of human immunodeficiency virus type 1 in plasma*. Nanoletters, 4, 1869-72, 2004.
27. D.R. LARSON et al. *Water-soluble quantum dots for multiphoton fluorescence imaging in vivo*. Science, 300, 1434-6, 2003.
28. H. KOBAYASHI et al. *Lymphatic drainage imaging of breast cancer in mice by micro-magnetic resonance lymphangiography using a nano-size paramagnetic contrast agent*. J. National Cancer Institute, 96, 703-8, 2004.
29. X. GAO et al. *In vivo cancer targeting and imaging with semiconductor quantum dots*. Nature Biotechnology, 22, 969-76, 2004.
30. F. CHEN, D. GERION. *Fluorescent CdSe/ZnS nanocrystal-peptide conjugates for long term, nontoxic imaging and nuclear targeting in living cells*. NanoLetters, 4, 1827-32, 2004.
31. D. RUGAR et al. *Single spin detection by magnetic resonance force microscopy*. Nature, 430, 329-32, 2004.

32. Y. BENENSON et al. *An autonomous molecular computer for logical control of gene expression*. Nature, 429, 423-9, 2004.
33. J. KREUTER. *Nanoparticulate systems for brain delivery of drugs*. Advanced Drug Delivery Rev., 47, 65-81, 2001.
34. H.S. YOO & T.G. PARK. *Folate-receptor-targeted delivery of doxorubicin nano-aggregates stabilized by doxorubicin-PEG-folate conjugate*. J. of Controlled Release, 100, 247-56, 2004.
35. B. RADT et al. *Optically addressable nanostructured capsules*. Advanced Materials, 16, 2184-9, 2004.
36. R.M. SCHIFFELERS et al. *Cancer siRNA therapy by tumor selective delivery with ligand-targeted sterically stabilized nanoparticle*. Nuclei Acid Research, 32, e149, 2004.
37. I. ROY et al. *Optical tracking of organically modified silica nanoparticles as DNA carriers: a non viral, nanomedicine approach for gene delivery*. PNAS, 102, 279-84, 2005.
38. L.R. HIRSCH et al. *Nanoshell-mediated near-infrared thermal therapy of tumors under magnetic resonance guidance*. PNAS, 100, 13549-54, 2003.
39. R. BAKALOVA et al. *Quantum dot anti-CD conjugates: are they potential photosensitizers or potentiators of classical photosensitizing agents in photodynamic therapy of cancer?* Nano Letters, 4, 1567-73, 2004.
40. R. M. SATAVA and R.K. Wolf. *Biosurgery*. Surgical Endoscopy, 17, 1833-6, 2003.
41. I. OBATAYA et al. *Nanoscale operation of a living cell using an atomic force microscope with a nanoneedle*. NanoLetters, 5, 27-30, 2005.
42. G. A. SILVA et al. *Selective differentiation of neural progenitor cells by high-epitope density nanofibers*. Science, 303, 1352-5, 2004.
43. J. CANTON. *Designing the future: NBIC technologies and human performance enhancement*. Ann. N. Y. Acad. Sci., 1013, 186-98, 2004.
44. K.L. DREHER. *Health and environmental impact of nanotechnology: toxicological assessment of manufactured nanoparticles*. Toxicological Sciences, 77, 3-5, 2004.
45. P. H.M. HOET. *Health impact of nanomaterials?* Nature Biotechnology, 22, 19, 2004.
46. G. OBERDORSTER et al. *Translocation of inhaled ultra-fine particles to the brain*. Inhal. Toxicol. 16, 437-45, 2004.
47. P.H.M. HOET et al. *Nanoparticles- known and unknown health risks*. J. of Nanobiotechnology, 2, 12-26, 2004.
48. Z. LYNCH. *Neurotechnology and society*. Ann.N.Y. Acad. Sci., 1013, 229-33, 2004.
49. G. YONAS, J. GLICKEN TURNLEY. *Socio-tech, the predictive science of societal behavior*. P. 159 in "Converging technologies for improving human performance: nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science", NSF/DOC-sponsored report. Eds: M. Roco&W.S. Bainbridge, 2002.

Modelli animali nella ricerca biomedica

**SIMONA LEONARDI E
MARIATERESA MANCUSO**

ENEA
UTS Biotecnologie, Protezione
della Salute e degli Ecosistemi



studi & ricerche

Lo sviluppo di nuove tecnologie per la manipolazione del genoma murino e le sempre più approfondite conoscenze delle mappe genetiche del topo hanno rivoluzionato la nostra capacità di generare nuovi modelli animali di malattie umane. Questi modelli animali, nella maggior parte dei casi, ricapitolano il fenotipo umano e rappresentano una importante risorsa per lo sviluppo di nuove terapie farmacologiche e geniche

Animal models in biomedical research

Abstract

Animal models are fundamental for understanding gene function and for studying hereditary human diseases. Since the 1980s, the mouse has emerged as our main mammalian model for gene research, because of its close genetic and physiological similarities to humans and also because its genome can be easily manipulated and analysed. Transgenic methodology affords a tool for the study of some human diseases. In the vast majority of models, the mutant mouse phenotype very closely resembles the human disease phenotype, and provides valuable resources for understanding how the disease develops and for testing ways to prevent or treat it

I modelli animali rappresentano uno strumento importante per lo studio di alcune delle malattie umane. Nonostante la ricerca scientifica si sia da sempre avvalsa dell'utilizzo di colture cellulari, le informazioni che si ottengono attraverso gli studi *in vitro* possono essere estrapolate alla ricerca biomedica soltanto quando analizzate all'interno di un organismo complesso con processi metabolici funzionanti. Tra le diverse specie *Mus Musculus*, il comune topo di laboratorio, è considerato l'organismo elettivo nella ricerca biomedica. Nonostante la diversità morfologica, questa specie mostra una sorprendente similarità fisiologica e genetica con l'uomo. I risultati ottenuti dal sequenziamento del genoma umano e di quello murino hanno stabilito infatti che, oltre ad avere dimensioni paragonabili (2,9 bilioni di nucleotidi versus 2,5), più del 90% del patrimonio genetico delle due specie è in sintenia, cioè nei cromosomi di topo è possibile individuare circa 350 regioni altamente conservate e condivise con i cromosomi dell'uomo. Entrambi i genomi contengono, inoltre, circa 30.000 geni codificanti proteine, l'80% dei quali è in omologia.

Topi *inbred*

I primi modelli animali utilizzati nel campo della ricerca biomedica sono stati i ceppi murini puri (*inbred*) ottenuti mediante accoppiamento tra consanguinei per un numero molto elevato di generazioni, da un minimo di 20-30 ad un massimo di 100 generazioni successive. Questa strategia di allevamento ha permesso di ottenere la minima variabilità genetica all'interno della popolazione, con un livello di omozigosi a tutti i loci genetici vicino al 100%, e ha consentito, soprattutto, di fissare uno specifico fenotipo¹.

L'utilizzo dei primi topi *inbred* risale ai primi anni del secolo scorso con la selezio-

ne del ceppo DBA nel 1909; ad oggi sono stati descritti più di 450 ceppi murini, ciascuno dei quali mostra peculiari caratteristiche genetiche.

Dall'accoppiamento di ceppi *inbred* si possono ottenere linee *outbred* che, mostrando un differente grado di variabilità genetica, sono maggiormente rappresentative della specie umana. Su queste linee è possibile selezionare uno specifico fenotipo mediante programmi di allevamento selettivo a lungo termine a partire da una popolazione fondatrice (F0) ottenuta per incrocio bilanciato di diversi ceppi murini, scelti in modo tale da assicurare la massima variabilità genetica rispetto al carattere desiderato. Nei laboratori dell'ENEA, ad esempio, sono state ottenute con questa strategia due linee murine *outbred*, una altamente suscettibile (Car-S) e una altamente resistente (Car-R) alla cancerogenesi cutanea a partire da una popolazione fondatrice ottenuta dall'incrocio bilanciato di otto ceppi *inbred* (AJ, DBA2/J, P/J, SWR/J, SJL/J, CBA/J, BALBc/J, C57BL6/J)²⁻⁷ (Figura 1).

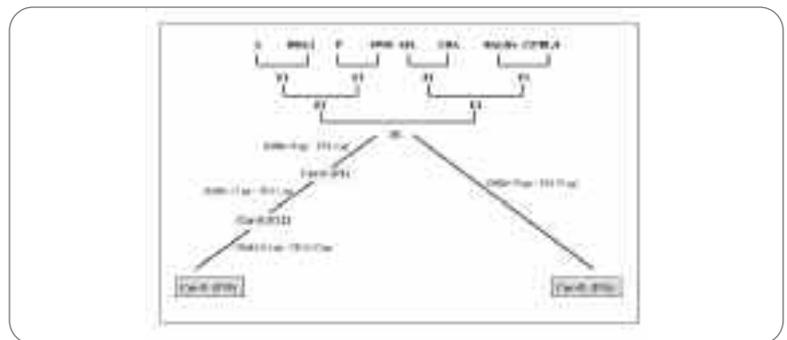


Figura 1
Programma di allevamento selettivo a lungo termine utilizzato per ottenere le linee murine Car-S e Car-c

La linea Car-S si è rivelata particolarmente utile nello studio del carcinoma a cellule squamose, un tumore cutaneo maligno caratterizzato da un elevato potenziale metastatizzante, che si manifesta con elevate percentuali di incidenza nella popolazione di razza bianca. La possibilità di ottenere sperimentalmente questo tumore ha permesso di valutare la cinetica di insorgenza delle lesioni preneoplastiche (papillomi) e la loro pro-

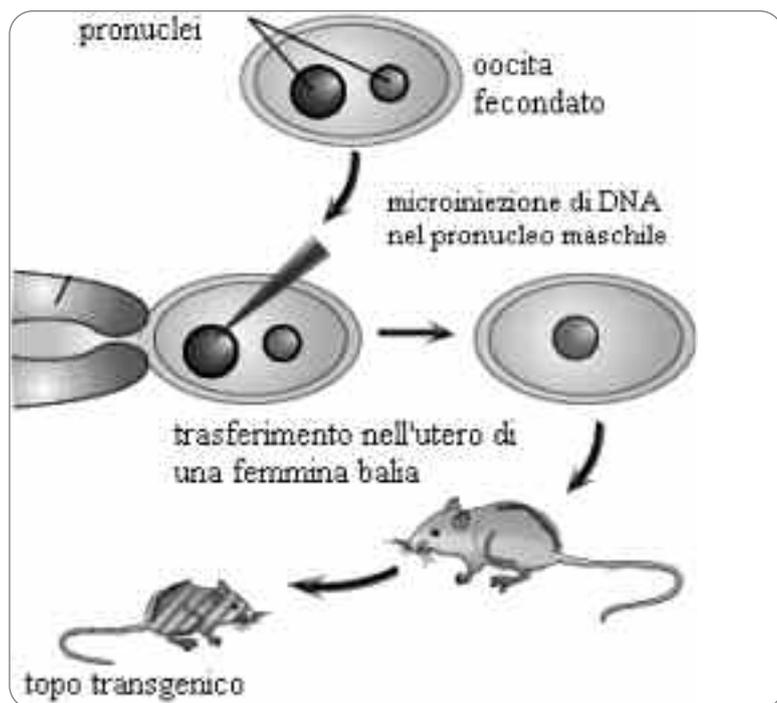
gressione allo stadio di carcinoma maligno, consentendo di far luce sui meccanismi molecolari alla base dello sviluppo di questo carcinoma.

La risposta progressiva alla selezione ha dimostrato, inoltre, che il carattere di suscettibilità alla cancerogenesi cutanea, analogamente a quello di resistenza, è soggetto a controllo poligenico ed alcuni geni coinvolti sono stati identificati^{8,9}.

La mutagenesi germinale

I primi tentativi di manipolare geneticamente il genoma murino si sono basati principalmente sull'esposizione dei ceppi inbred ad agenti chimici. Lo scopo non era quello di produrre mutazioni specifiche, ma piuttosto quello di introdurre nella linea germinale mutazioni multiple casuali. Un esempio tipico sono i topi *Min* (multiple intestinal neoplasms), ottenuti dal ceppo puro C57Bl¹⁰. Questo fenotipo *Min*, è sorprendentemente simile a quello di pazienti affetti da poliposi adenomatosa familiare, una sindrome ereditaria caratterizzata dallo sviluppo, nella seconda decade di vita, di adenomi mul-

Figura 2
Schema della procedura di transgenizzazione mediante microiniezione di DNA nel pronucleo di un oocita fecondato



tipi del colon con un'alta probabilità di progressione a carcinomi coloretali. Questi pazienti sono portatori di una mutazione in eterozigosi del gene *APC* (Adenomatous polyposis coli) nella linea germinale. Mutazioni del gene *APC* sono presenti anche nell'80% dei tumori sporadici del colon.

È stato in breve dimostrato che la mutazione che caratterizza i topi *Min* è localizzata all'interno del gene murino *Apc*, omologo del gene umano¹¹. Il ceppo murino *Min* rappresenta pertanto un eccellente modello per lo studio delle neoplasie intestinali umane.

Topi geneticamente modificati

La vera rivoluzione nel campo della manipolazione del genoma murino inizia negli anni 80 con lo sviluppo di nuove metodologie che hanno portato alla produzione di animali geneticamente modificati¹²⁻¹⁴. I topi geneticamente modificati nascono con l'obiettivo di studiare *in vivo* la funzione di molecole di cui si conoscono le caratteristiche *in vitro*. Essi offrono, inoltre, la possibilità di studiare gli effetti dell'alterazione di un singolo gene in un organismo complesso. L'utilizzo di questi modelli animali trova grande spazio nell'identificazione e nello studio dei cancerogeni ambientali. Numerosi modelli animali sono stati realizzati per consentire lo studio di patologie umane¹⁵⁻¹⁹; la tecnologia attuale ci permette di riprodurre patologie correlate ad alterazione della funzione (topi transgenici) o alla mancanza di funzionalità (topi knockout) di una proteina.

Topi transgenici. La creazione di un topo transgenico inizia con la selezione del transgene di interesse da introdurre nel genoma murino, che può essere rappresentato da un gene, da un cDNA codificante una proteina o da un frammento antisense disegnato per ridurre il livello di espressione di un mRNA endogeno. Il

transgene viene subclonato a valle di un promotore che ne guiderà l'espressione in un tessuto specifico.

Una volta linearizzato e purificato, il transgene di interesse viene introdotto mediante microiniezione direttamente nel pronucleo maschile di un oocita appena fecondato. Il gene inserito si integra nel genoma della cellula uovo e questa viene trapiantata in una femmina balia, la quale sarà in grado di portare a termine la gravidanza perché precedentemente accoppiata con un maschio vasectomizzato. In genere, solo il 10-30% della progenie che si ottiene impiantando questi zigoti modificati contiene il DNA estraneo in quantità costante in tutti i tessuti comprese le cellule germinali e sarà quindi in grado di trasmetterlo stabilmente alla progenie (figura 2). Questi animali rappresentano i topi fondatori da cui è possibile allestire una colonia. Un limite di questa tecnica consiste nel fatto che i topi fondatori non sono mai identici tra loro in quanto possono differire per il numero di copie del transgene inserite, variabile da 2 a 50. Poiché il fenotipo della malattia è correlato al livello di espressione della proteina che, a sua volta, dipende dal numero di copie del transgene, nei topi fondatori la malattia si può manifestare con diversa entità. Ulteriori differenze possono dipendere da effetti posizionali, di silenziamento o essere dovute ad alterazione di geni endogeni. Di conseguenza il modello animale che meglio rappresenta la malattia umana deve essere selezionato osservando il fenotipo della progenie di vari topi fondatori.

Topi knockout. La tecnologia knockout

consiste nel creare un elemento di DNA in cui il gene di interesse viene sostituito con un frammento di DNA che conferisce resistenza ad un antibiotico, come la neomicina, fiancheggiato da due regioni omologhe a quelle del gene di interesse endogeno. Il costrutto viene quindi inserito all'interno di cellule staminali embrionali murine stabilizzate, per favorire la ricombinazione omologa.

Le cellule staminali embrionali (cellule ES, *embryonic stem cells*) vengono prelevate dalla massa cellulare interna (*inner cell mass*) della blastocisti e mantenute in coltura in presenza di fattori come il LIF (fattore inibente la leucemia) o di cellule, come i fibroblasti, che ne impediscono il differenziamento. In queste condizioni le cellule ES mantengono intatta la loro capacità di differenziarsi in modo appropriato in qualunque tessuto. Disponendo di queste cellule in coltura è possibile introdurre nel loro genoma il transgene di interesse, mediante elettroporazione. Una opportuna selezione eseguita mediante l'aggiunta di antibiotico nel mezzo di coltura permette la sopravvivenza esclusivamente delle cellule in cui l'inserimento del costrutto è avvenuto nel giusto orientamento. Le cellule mutate vengono microiniettate in blastocisti che saranno poi impiantate nell'utero di una femmina balia. Al termine della gravidanza si otterrà una progenie di topi chimerici; se il chimerismo è presente anche nella linea germinale, questi animali possono trasmettere il gene mutato alla progenie, allo stato eterozigote nella prima generazione e, per incroci successivi, allo stato omozigote (figura 3).

Esistono attualmente molti modelli animali



Figura 3
Metodologia per la realizzazione di un topo knockout mediante elettroporazione di DNA in cellule staminali embrionali di topo

di malattie umane (transgenici o knockout) a carattere monogenico come la fibrosi cistica, l'arteriosclerosi, le talassemie, la retinite pigmentosa e le sindromi familiari che predispongono allo sviluppo tumorale^{15,16}. In relazione a questa ultima categoria, un esempio di utilizzo di un modello animale nella ricerca biomedica proviene dai nostri laboratori in cui da alcuni anni topi knockout eterozigoti per il gene *Ptch1* costituiscono un ottimo strumento per lo studio di alcune delle neoplasie associate alla sindrome di Gorlin. La sindrome di Gorlin è una malattia mendeliana autosomica dominante, che si manifesta con un'incidenza di 1/50.000-150.000 individui e dipende da un difetto costituzionale in una delle due copie del gene oncosoppressore *Patched1* (*Ptch1*). La proteina Ptch1 fa parte della complessa via di trasduzione del segnale di Shh, un morfogeno diffusibile coinvolto in molti dei processi che regolano lo sviluppo embrionale e nel controllo della proliferazione cellulare. Mutazioni del gene *Ptch1* determinano l'attivazione costitutiva del pathway di Shh ed il mantenimento dello stato proliferativo delle cellule.

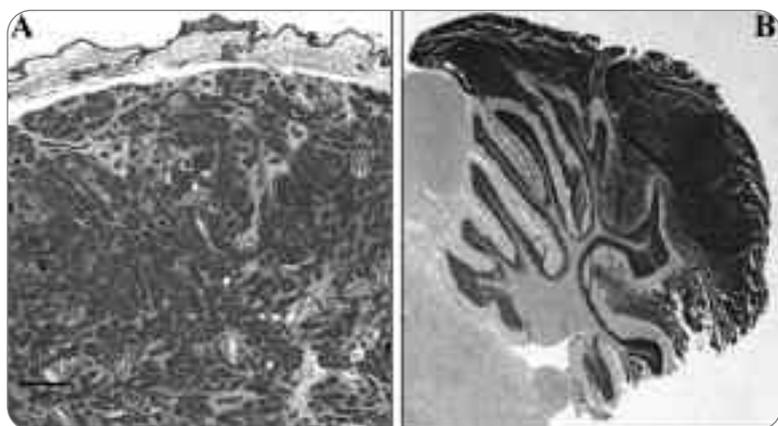
I pazienti affetti dalla sindrome di Gorlin ereditano una copia mutata del gene *Ptch1*, condizione che determina numerose anomalie di sviluppo ed una marcata predisposizione alla tumorigenesi spontanea²⁰. Le neoplasie associate a questa

sindrome sono il medulloblastoma, un tumore del cervello che si sviluppa con una incidenza del 10% in età infantile, sarcomi dei tessuti molli e fibromi ovarici. I pazienti Gorlin, inoltre, manifestano una spiccata suscettibilità agli effetti indotti dalle radiazioni ionizzanti, che causa nelle aree cutanee esposte a radioterapia, l'insorgenza di carcinomi a cellule basali multipli. Questo carcinoma, noto anche come basalioma, è il tumore maligno più diffuso al mondo; è stato calcolato che 1/3 dei tumori che colpiscono la popolazione di pelle bianca è un basalioma.

I topi knockout eterozigoti per il gene *Ptch1* sono stati ottenuti recentemente mediante inattivazione nella linea germinale di una copia del gene *Ptch1*, tramite la sostituzione degli esoni 6 e 7 con una cassetta di resistenza alla neomicina²¹ e rappresentano una perfetta fenocopia della sindrome di Gorlin. Oltre a ricapitolare tutti i sintomi tipici, questi topi mantengono la caratteristica suscettibilità allo sviluppo tumorale in seguito ad esposizione alle radiazioni ionizzanti. Questo modello animale è risultato utile per approfondire le conoscenze degli eventi molecolari alla base dello sviluppo del carcinoma a cellule basali^{6,22} e del medulloblastoma²³ (figura 4) e per identificarne gli stadi precoci. È stata inoltre stabilita una correlazione tra lo sviluppo tumorale e l'età dell'animale al momento dell'irraggiamento per entrambe le neoplasie, condizione che pone le basi per identificare le cellule bersaglio dell'azione delle radiazioni e di conseguenza stabilire una opportuna terapia farmacologica e/o genica.

Topi knockout condizionali. I limiti della metodologia knockout convenzionale consistono nella impossibilità di creare degli animali transgenici in cui venga perduta la funzionalità di un gene indispensabile per lo sviluppo; per superare questo ostacolo nuove metodologie hanno portato recentemente alla creazione di animali

Figura 4
Immagini isopatologiche di carcinoma a cellule basali (A) e medulloblastoma (B) ottenuti dopo irraggiamento di topi *Ptch^{neo6-7/+}*



knockout definiti condizionali²⁴.

Negli animali knockout condizionali è possibile accendere o spegnere l'espressione di un gene esclusivamente in un determinato tessuto o in un particolare momento dello sviluppo.

Per raggiungere questo obiettivo viene utilizzato l'enzima Cre, una DNA ricombinasi sito-specifica proveniente dal batteriofago P1, che riconosce una sequenza di DNA di 34 pb del fago P1, chiamata lox P ed assente in piante ed animali. Questa sequenza può essere inserita artificialmente nel genoma animale ed essere utilizzata per determinare la rimozione di un frammento di DNA. Quando due siti lox P vengono inseriti nel DNA, la Cre ricombinasi promuove la rimozione del segmento genomico fiancheggiato dalle sequenze lox P.

Per ottenere un knockout condizionale è necessario, quindi, incrociare un animale in cui l'enzima Cre si trova sotto il controllo di un promotore specifico per un tessuto bersaglio con un animale in cui il gene di interesse è fiancheggiato da due sequenze lox P. Dall'incrocio di questi due animali si otterrà un modello in cui l'enzima Cre verrà espresso esclusivamente nel tessuto bersaglio, dove promuoverà la rimozione del gene di interesse (figura 5); nei tessuti in cui Cre non si esprime il gene sarà presente e funzionerà normalmente.

Un esempio di utilizzo di un modello knockout condizionale si ha nello studio del carcinoma mammario, un tumore che si sviluppa in seguito ad alterazioni del gene oncosoppressore *Brca1*. La delezione del gene *Brca1* in condizione di omozigosi risulta letale ed è quindi impossibile avvalersi di un modello knockout convenzionale per lo studio di questa patologia.

Conclusioni

L'utilizzo di modelli animali transgenici di malattie umane ha, in soli venti anni dal-

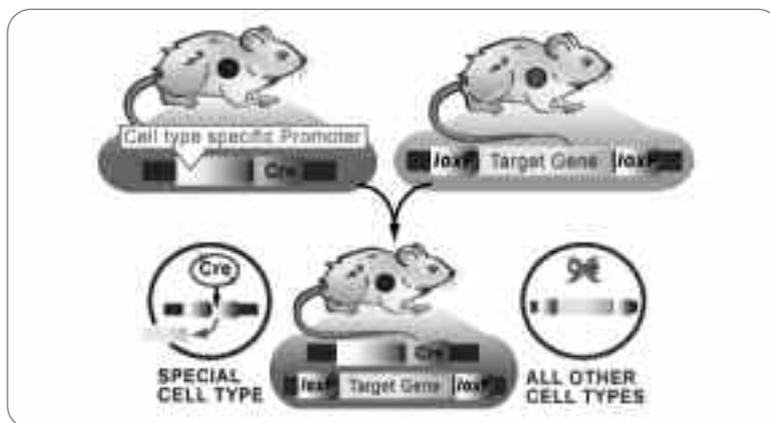


Figura 5
Rappresentazione schematica della metodologia utilizzata per la creazione di un modello murino knockout condizionale (tratta da www.bioteach.ubc.ca)

la loro scoperta, rivoluzionato la ricerca biomedica, consentendo sia di valutare la funzione in vivo di oncogeni e geni oncosoppressori, che di identificare nuovi geni implicati nell'insorgenza dei tumori. Nonostante la ricerca biomedica abbia fatto enormi passi avanti nella comprensione delle malattie a carattere monogenico, l'obiettivo futuro è quello di ampliare le conoscenze sulle malattie a carattere poligenico, traguardo che risulta impensabile da raggiungere senza l'utilizzo di opportuni modelli animali.

Bibliografia

1. BECK J.A., LLOYD S., HAFEZPARAST M., LENNON-PIERCE M., EPPIG J.T., FESTING M.F.W. e FISHER E.M.C. *Genealogies of mouse inbred strains*. *Nature Genet*, 24: 23-25, 2000.
2. BANGRAZI C., MOUTON D., NEVEU T., SARAN A., COVELL V., DORIA G. e BIOZZI G. *Genetics of chemical carcinogenesis. I. Bidirectional selective breeding of susceptible and resistant lines of mice to two-stage skin carcinogenesis*. *Carcinogenesis*, 11: 1711-1719, 1990.
3. MANCUSO M., PAZZAGLIA S., TANORI M., REBESSI S., DI MAJO V., COVELL V. e SARAN A. *Only a subset of 12-O-tetradecanoylphorbol-13-acetate-promoted mouse skin papillomas are promotable by benzoyl peroxide*. *Mutat Res*, 584: 35-45, 2004.
4. PAZZAGLIA S., MANCUSO M., REBESSI S., DI MAJO V., TANORI M., BIOZZI G., COVELL V. e SARAN A. *The genetic control of chemically and radiation-induced skin tumorigenesis: a study with carcinogenesis-susceptible and carcinogenesis-resistance mice*. *Radiat Res*, 158: 78-83, 2002.

5. SARAN A., PAZZAGLIA S., REBESSI S., BOUTHILLER Y., PIOLI C., COVELLI V., MOUTON D., DORIA G. e BIOZZI G. *SKIN. Tumorigenesis by initiators and promoters of different chemical structures in lines of mice selectively bred for resistance (Car-R) or susceptibility (Car-S) to two stage skin carcinogenesis.* Int J Cancer, 83: 335-340, 1999.
6. PAZZAGLIA S., MANCUSO M., TANORI M., ATKINSON M.J., MEROLA P., REBESSI S., DI MAJO V., COVELLI V., HAHN H. e SARAN A. *Modulation of patched-associated susceptibility to radiation induced tumorigenesis by genetic background.* Cancer Res, 64: 3798-3806, 2004
7. SARAN A., ZAFFARONI D., PAZZAGLIA S., PEISSEL B., GALBIATI F., SPINOLA M., MANENTI G., ZANESI N., REBESSI S., MANCUSO M.T., COVELLI V. e DRAGANI T.A. *Inhibition of both skin and lung tumorigenesis by Car-R mouse-derived cancer modifier loci.* Int J Cancer, 97: 580-583, 2002.
8. GARIBOLDI M., PEISSEL B., FABBRI A., SARAN A., ZAFFARONI D., FAVELLA F.S., SPINOLA M., TANUMA J., PAZZAGLIA S., MANCUSO M.T., MAURICHI A., BARTOLI C., CATALTEPE S., SILVERMAN G.A., PILOTTI S., HAYASHIZAKY Y., OKAZAKI Y. e DRAGANI T.A. *SCCA2-like serpins mediate genetic predisposition to skin tumors.* Cancer Res, 63: 1871-1875, 2003.
9. MANENTI G., PEISSEL B., GARIBOLDI M., FAVELLA F.S., ZAFFARONI D., ALLARIA B., PAZZAGLIA S., REBESSI S., COVELLI V., SARAN A. e DRAGANI T.A. *A cancer modifier role for parathyroid hormone-related protein.* Oncogene, 19: 5324-5328, 2000.
10. MOSER A.R., PITOT H.C., DOVE W.F. *A dominant mutation that predisposes to multiple intestinal neoplasia in the mouse.* Science, 247:322-324, 1990
11. SU L.K., KINZLER K.W., VOGELSTEIN B., PREISINGER A.C., MOSER A.R., LUONGO C., GOULD K.A., DOVE W.F. *Multiple intestinal neoplasia caused by a mutation in the mouse homolog of the APC gene.* Science, 256:668-670, 1992.
12. BABINET C. *Transgenic mice: an irreplaceable tool for the study of mammalian development and biology.* J Am Soc Nephrol, 11: S88-S94, 2000.
13. BEDELL M.A., JENKINS N.A. e COPELAND N.G. *Mouse models of human disease. Part I: Techniques and resources for genetic analysis in mice.* Genes & Dev, 11: 1-10, 1997.
14. BOGUE CW. *Genetic models in applied physiology. Invited review. Functional genomics in the mouse: powerful techniques for unraveling the basis of human development and disease.* J Appl Physiol, 94: 2502-2509, 2003.
15. BEDELL M.A., LARGAESPADA D.A., JENKINS N.A. e COPELAND N.G. *Mouse models of human disease. Part II: Recent progress and future directions.* Genes & Dev, 11: 11-43, 1997.
16. HIRST G.L. e BALMAIN A. *Forty years of cancer modelling in the mouse.* Eur J Cancer, 40: 1974-1980, 2004.
17. MACLEOD K.F. e JACKS T. *Insight into cancer from transgenic mouse models.* J Pathol, 187: 43-60, 1990.
18. VAN DYKE T. e JACKS T. *Cancer modeling in the modern era: progress and challenges.* Cell, 108: 135-144, 2002.
19. PICCIOTTO M.R. e WICKMAN K. *Using knockout and transgenic mice to study neurophysiology and behavior.* Physiological Reviews, 78: 1131-1155, 1998.
20. GORLIN R.J. *NEVOID basal carcinoma syndrome.* Dermatol Clin, 13: 113-125, 1995.
21. HAHN H., WOJNOWSKI L., ZIMMER A.M., HALL J., MILLER G. e ZIMMER A. *Rhabdomyosarcomas and radiation hypersensitivity in a mouse model of Gorlin syndrome.* Nat Med, 4: 619-622, 1998.
22. MANCUSO M., PAZZAGLIA S., TANORI M., HAHN H., MEROLA P., REBESSI S., ATKINSON M.J., DI MAJO V., COVELLI V. e SARAN A. *Basal cell carcinoma and its development: insights from radiation induced tumors in Ptch1 deficient mice.* Cancer Res, 64: 934-941, 2004.
23. PAZZAGLIA S., MANCUSO M., ATKINSON M.J., TANORI M., REBESSI S., DI MAJO V., COVELLI V., HAHN H. e SARAN A. *High incidence of medulloblastoma following X-ray irradiation of newborn Ptch1 heterozygous mice.* Oncogene, 21: 7580-7584, 2002.
24. JONKERS J. e BERNIS A. *Conditional mouse models of sporadic cancer.* Nat Rev Cancer, 2: 251-265, 2002.

Telefonia cellulare e aeromobili

V. LOPRESTO, R. PINTO,
L. ARDOINO, S. MANCINI,
G. A. LOVISOLO

ENEA
UTS Biotechnologie, Protezione
della Salute e degli Ecosistemi

La possibilità di utilizzo dei telefoni cellulari sugli aerei è un'interessante prospettiva commerciale di attualità. L'installazione a bordo dell'aeromobile di una pico-cella dedicata, collegata con un transponder satellitare esterno, eliminerebbe il rischio di possibili interferenze con la strumentazione di bordo, oltre a ridurre significativamente i livelli di esposizione dei passeggeri

Mobile phones and aircrafts

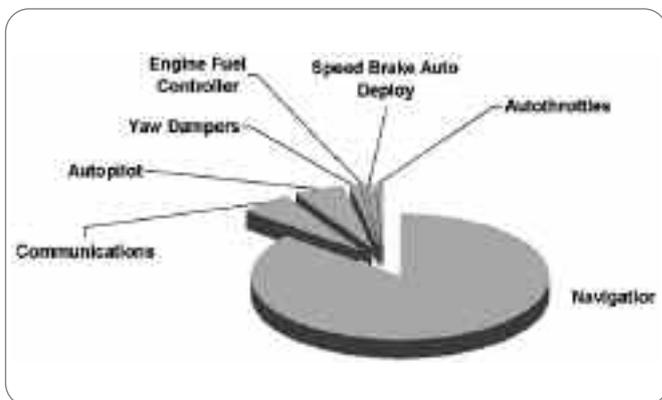
Abstract

Wireless-LAN systems offering broadband Internet access are already being installed in aircraft of major airlines, but aviation authorities, with the support of commercial air carriers and major cellular licensees, still forbid the use of cell phones on board. This paper reviews some of the issues regarding possible interference with airborne navigation systems, then describes a study conducted with computer simulations to assess the exposure level of passengers and crew to the electromagnetic field created by on-board use of cell phones. To reduce the computational requirements of the simulations, the study focused on a relatively small commercial plane (ATR42). In all the cases examined, the computed electric and magnetic field values resulted to far below the benchmark ICNIRP exposure limits

La rapida diffusione dei sistemi di radio-comunicazione e dei dispositivi elettronici portatili offre interessanti prospettive di sviluppo anche nel settore dell'aviazione civile. Infatti, le maggiori compagnie aeree di linea hanno cominciato a installare reti locali senza fili (*wireless local area network*, W-LAN) su alcuni aeromobili, per offrire a bordo un servizio di accesso a Internet a larga banda. L'uso di telefoni cellulari a bordo di aerei è, invece, ancora vietato dalle autorità dell'aviazione civile, con l'accordo dei vettori aerei commerciali e dei principali gestori di telefonia cellulare. La ragione di un tale divieto risiede nel fatto che l'uso di telefoni cellulari a bordo di aerei può causare disturbi alla rete di comunicazione cellulare di terra e può, potenzialmente, produrre interferenze con i dispositivi elettronici di bordo. Ciò non di meno, la possibilità di utilizzo dei telefoni cellulari a bordo, durante la fase di crociera, è un'interessante prospettiva commerciale di attualità per le compagnie aeree di linea e per i gestori di telefonia mobile.

I telefoni cellulari di ultima generazione sono in grado di offrire, oltre al servizio di chiamata vocale e di brevi messaggi testuali, servizi evoluti e diversificati quali, ad esempio, la video-chiamata e il trasferimento dati ad alta velocità. La possibilità per i passeggeri di usufruire a bordo di questi servizi sarebbe senz'altro un valore aggiunto, in specie sui voli di lungo raggio.

Figura 1
Sistemi di bordo disturbati da dispositivi radio portatili ¹



In letteratura si ritrovano diversi studi sulle possibili interferenze dei telefoni cellulari con i dispositivi elettronici di bordo degli aeromobili, di cui nella sezione successiva è presentata una breve rassegna. Vi è tuttavia da considerare anche un altro aspetto, che riguarda l'esposizione dei passeggeri e del personale di servizio al campo elettromagnetico irradiato dai telefoni cellulari all'interno di un ambiente sostanzialmente chiuso (la cabina passeggeri).

Nell'intento di contribuire all'approfondimento necessario per la sicurezza, in questo lavoro è stato condotto uno studio preliminare, realizzato mediante simulazioni numeriche e considerando condizioni semplificate, sulla valutazione del campo elettromagnetico irradiato da telefoni cellulari all'interno della cabina passeggeri di un aeromobile.

Interferenze elettromagnetiche con la strumentazione di bordo

A. Disturbi ai sistemi elettronici di bordo

I problemi di interferenza elettromagnetica sulla strumentazione elettronica di bordo degli aeromobili riguardano principalmente la trasmissione di dati e comandi, nonché i sistemi di radionavigazione (sistemi ILS, VOR e GPS). La diffusione dei dispositivi elettronici portatili (*portable electronic devices*, PED) ha esteso la possibilità di interferenza tra sistemi elettronici in generale e in situazioni particolari, come a bordo di aeromobili. Una revisione dei dati su presunti disturbi indotti ai sistemi aeronautici dai PED è stata pubblicata alcuni anni fa¹, offrendo un panorama piuttosto articolato in un arco di molti anni (1986-1999), che riguarda quasi tutti i sistemi di bordo: dal pilota automatico ai sistemi di assistenza alla navigazione (figura 1). I dispositivi individuati come fonte di disturbo sono

stati 118, di cui 25 telefoni cellulari, 25 calcolatori portatili, 14 PED non identificati e 13 giochi elettronici. Tuttavia, lo studio è stato condotto prevalentemente su aeromobili di non recente fabbricazione, per lo più sprovvisti dei sistemi e degli accorgimenti per la protezione dalle interferenze elettromagnetiche. Sono stati altresì condotti, sebbene con successi limitati, studi per quantificare le soglie di suscettività dei ricevitori di bordo ².

Nelle tabelle 1 e 2 sono riportate, rispettivamente, le bande di frequenza di funzionamento dei principali sistemi radio di bordo e dei principali sistemi di telefonia cellulare. Quantunque non vi sia sovrapposizione delle frequenze di interesse, è stata però evidenziata la possibilità che l'intermodulazione tra due telefoni cellulari molto vicini possa produrre emissioni nella banda di frequenza di funzionamento del sistema GPS.

Lo studio sulle possibili interferenze derivanti dai prodotti di intermodulazione di due sorgenti radio molto vicine è stato affrontato, in via preliminare ³, attraverso il calcolo fino al 5° ordine di diverse combinazioni di sorgenti (CDMA/TDMA, PCS, DCS, GSM), e ha evidenziato la possibilità di interferenze nelle bande di funzionamento dei dispositivi radio aeronautici (tabella 3). Tuttavia, queste si sono rivelate considerazioni teoriche che non sono arrivate a quantificare gli effetti dell'interferenza in condizioni reali, né a definire il rischio effettivo di disturbo operativo, che non è stato rilevato sperimentalmente.

Aircraft Systems	Abbrev.	Receive Freq. Range (MHz)
HF Communications	HF	2.850 - 23.350
Marker Beacon	MB	74.8 - 75.2
VHF Omni-Range	VOR	108 - 117.95
Localizer	LOC	108.1 - 111.95
Very High Frequency Communication	VHF	118 - 137
Glideslope	GS	328.6 - 335.4
Distance Measurement Equipment/ Tactical Air Navigation	DME/TACAN	962 - 1213
Air Traffic Control	ATC	
Transponder – Mode S	Mode S	1030
Traffic Collision Avoidance System	TCAS	1090
Airborne Mobile Satellite Service	AMSS	1530 - 1559
Global Positioning System	GPS	1575.42 +/- 2
Microwave Landing System	MLS	5031 - 5090.7

Tabella 1
Bande di frequenza di funzionamento dei principali radio-sistemi aeronautici di bordo ²

Per quanto concerne il rischio di possibili interferenze sui sistemi di navigazione di bordo, studi sperimentali recenti³, riguardanti telefoni cellulari GSM e CDMA in condizioni di normale operatività, hanno evidenziato che nessuno dei telefoni esaminati è in grado di causare disturbi. A maggior ragione, l'installazione a bordo dell'aeromobile di una pico-cella dedicata, riducendo sensibilmente la potenza emessa dai telefoni, abbatterebbe ulteriormente il rischio di possibili interferenze.

B. Normative di sicurezza

La Federal Communications Commission (FCC) statunitense ha fissato le linee guida riguardanti le emissioni di sorgenti di segnali radio ⁴. Nella sezione 22 sono riportate le regole sull'uso dei dispositivi elettronici portatili a bordo di aeromo-

Wireless Technology	Handset Transmit Frequency (MHz)
CDMA / TDMA / AMPS	824 - 849
GSM	880 - 915
PCS	1850 - 1910
Bluetooth / 802.11b	2400 - 2497
	2400-2483
DCS 1800 / DCS 1900	1710 - 1785
iDEN	806 - 821

Tabella 2
Bande di frequenza di funzionamento dei principali sistemi di comunicazione radio ²

bili, ove si specifica che il divieto all'uso a bordo dei telefoni cellulari è motivato dalla necessità di prevenire interferenze con la rete di comunicazione cellulare di terra durante le fasi di decollo e atterraggio (a causa della prossimità), mentre non fa riferimento a potenziali interferenze con i sistemi aeronautici di navigazione. La Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA) e la European Organisation for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) pubblicano regolarmente, e spesso congiuntamente, raccomandazioni sui requisiti di sicurezza degli aeromobili e dei relativi servizi a terra ⁵⁻⁸. Naturalmente, le raccomandazioni non sono leggi, ma rappresentano linee guida che sono utilizzate dalle autorità preposte, a livello nazionale o sovranazionale, a emanare le direttive. Tra i diversi documenti pubblicati, particolare rilevanza ha il documento preparato congiuntamente da RTCA e EUROCAE "Environmental conditions and test procedures for airborne equipment" con edizioni aggiornate nel tempo ⁸, in cui sono definite le procedure standard di controllo della strumentazione e dell'e-

quipaggiamento degli aeromobili, nonché i livelli di suscettività elettromagnetica per i quali le apparecchiature installate devono essere provate.

Esposizione ai campi elettromagnetici

Nel caso in cui si consentisse l'uso del telefono cellulare a bordo di aerei (durante la fase di crociera), si potrebbero avere numerose sorgenti di 1 o 2 W in antenna simultaneamente emittenti radiofrequenza in uno spazio delimitato da pareti sostanzialmente riflettenti. Ci si può domandare quale sarebbe, in una siffatta situazione, il livello di esposizione dei passeggeri.

A questo proposito, occorre considerare che, da un punto di vista metodologico, il problema dell'esposizione umana ai campi elettromagnetici irradiati da telefoni cellulari presenta aspetti peculiari ⁹, che possono essere definiti attraverso i seguenti elementi: il soggetto esposto si trova nelle immediate vicinanze di una sorgente di bassa potenza; l'esposizione è estremamente localizzata, ma interessa

Wireless Devices	Intermod. Product	Intermod. Product (*)	Potential Aircraft Bands Interfered
	31 - 91	$f_2 - f_1$	MB
(CDMA/TDMA/AMPS)	911 - 1006	$2f_2 - f_1$	DME/TACAN
and GSM	942 - 1097	$3f_2 - 2f_1$	DME/TACAN, ATC Mode S, TCAS
	1557 - 1667	$3f_2 - f_1$	GPS, AMSS
(CDMA/TDMA/AMPS)	1001 - 1086	$f_2 - f_1$	DME/TACAN, ATC Mode S
(CDMA/TDMA/AMPS)	0 - 147	$3f_2 - f_1$	HF, MB, VOR, LOC, VHF
and 802.11b	1551 - 1659	$f_2 - f_1$	AMSS, GPS
GSM and 802.11b	0 - 345	$3f_2 - f_1$	HF, MB, VOR, LOC, VHF, GS
	1485 - 1603	$f_2 - f_1$	AMSS, GPS
GSM and DCS	0 - 120	$2f_2 - f_1$	HF, MB, VOR, LOC, VHF
1800/1900	0 - 1035	$3f_2 - f_1$	HF, MB, VOR, LOC, VHF, GS, DME/TACAN, ATC Mode S
(CDMA/TDMA/AMPS)	1569 - 1639	$3f_2 - f_1$	GPS
PCS + iDEN	1029 - 1104	$f_2 - f_1$	DME/TACAN, ATC Mode S, TCAS

(*) Per semplicità, l'ordine di f_2 and f_1 è interscambiabile. Per esempio, $2f_2 - f_1$ può rappresentare anche $2f_1 - f_2$.

Tabella 3
Prodotti dell'intermodulazione tra sorgenti radio e potenziali interferenze con dispositivi aeronautici ²

una parte del corpo altamente disomogenea.

Per questo sono state definite procedure di test che ogni telefono cellulare deve superare prima di essere immesso in commercio¹⁰⁻¹¹, onde valutare, nelle condizioni peggiori, che l'effettiva potenza elettromagnetica indotta nella testa dell'utente sia conforme ai livelli stabiliti dalle norme.

Nel caso specifico dell'uso di telefoni cellulari a bordo di aerei, oltre alle suddette questioni, sussiste una situazione in cui diverse sorgenti, vicine tra loro, irradiano in un ambiente chiuso delimitato da pareti sostanzialmente riflettenti. In tal caso, per una valutazione dell'esposizione è necessario conoscere anche i livelli del campo elettromagnetico generato dall'insieme delle sorgenti irradianti (telefoni).

Valutazione del rischio da esposizione

La valutazione del rischio derivante da esposizione ai campi elettromagnetici deve essere correlata a indicazioni quantitative, come stabilito dalle linee guida dell'International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP)¹², recepite anche da una Raccomandazione della Commissione Europea¹³. La grandezza di base per valutare l'esposizione di organismi biologici ai campi elettromagnetici nelle bande delle radiofrequenze è il tasso di assorbimento specifico (*specific absorption rate*, SAR), cioè la potenza dissipata in una massa unitaria di materiale biologico (W/kg).

A partire dai limiti imposti alla grandezza di base (limiti di base), sono stati definiti limiti sulle grandezze derivate intensità del campo elettrico (E) e intensità del campo magnetico (H), che possono essere misurate direttamente nell'ambiente (limiti di riferimento).

I limiti di riferimento per i livelli di campo elettromagnetico alle radiofrequen-

ze, previsti per la popolazione, nelle linee guida dell'ICNIRP (riferiti alla frequenza di 1800 MHz)¹², nella raccomandazione europea¹³ e nella normativa italiana sono riportati in tabella 4.

Esposizione ai campi elettromagnetici all'interno di un aeromobile

Come si è detto, la valutazione dell'esposizione ai campi elettromagnetici irradiati da telefoni cellulari all'interno di un aeromobile presenta la specificità che sorgente e soggetto esposto si trovano in un ambiente chiuso.

Per consentire l'uso dei telefoni cellulari a bordo durante la fase di crociera, sarebbe necessario installare nella cabina passeggeri un sistema simile a una stazione radio-base a pico-cella, collegato a un trasponditore satellitare esterno per l'interconnessione con la rete di telecomunicazioni terrestri. L'installazione di un tale sistema consentirebbe il funzionamento dei telefoni cellulari con livelli di potenza molto bassi, così riducendo sensibilmente i livelli di campo irradiato e, quindi, l'esposizione dei passeggeri, nonché il rischio di interferenze con i sistemi di navigazione di bordo.

Il sistema GSM a 1800 MHz, per la sua diffusione e i livelli di potenza di funzionamento relativamente bassi, è quello che meglio si presta all'implementazione di un servizio di telefonia cellulare a bordo di aerei. Pertanto, in questo studio sono stati considerati telefoni GSM operanti a 1800 MHz (vicini, in frequenza, anche alla nuova generazione di telefoni UMTS, che operano nella banda di frequenze

Tabella 4
Limiti di riferimento delle principali linee guida internazionali ed europee e della normativa italiana per i livelli dei campi elettrico (E) e magnetico (H) e della densità di potenza (S) alle radiofrequenze

LINEE GUIDA E NORMATIVE	FREQUENZA (MHz)	E (V/m)	H (A/m)	S (W/m ²)
ICNIRP 1998 & UE 1999	1800	58.3	0.16	9
Italia (DPCM 8/7/2003)	Da 3 a 3000	20	0.05	1
Italia (DPCM 8/7/2003)*	Da 3 a 300.000	6	0.016	0.1

(*) Valori di attenzione e Obiettivi di qualità all'interno di edifici adibiti a permanenze giornaliere superiori alle 4 ore.

intorno a 2 GHz). La potenza media massima che può essere emessa da un telefono cellulare GSM operante a 1800 MHz è pari a 0,125 W (1 W di picco). Se il segnale di rete è di elevata qualità, il telefono può funzionare con livelli di potenza molto inferiori (di oltre 100 volte) al livello massimo. Analogamente, un telefono UMTS, che opera nella banda di frequenze intorno a 2 GHz, può funzionare con livelli di potenza inferiori anche al millesimo di watt.

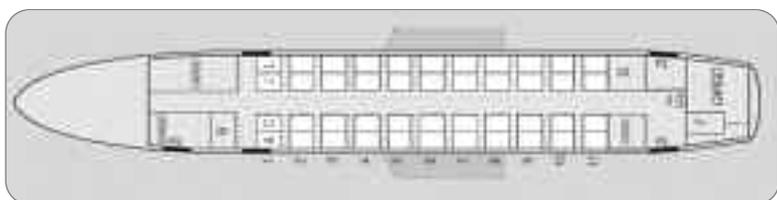


Figura 2a
ATR42, velivolo bimotore con una lunghezza di 22,7m e cabina larga 2,6m prevede il trasporto di 42 passeggeri

Valutazione del campo elettromagnetico prodotto dai telefoni cellulari all'interno di un aeromobile (ATR42)

Anche se, sulla base delle considerazioni appena illustrate, si potrebbero prefigurare soluzioni tecniche tali da minimizzare il problema dell'esposizione dei passeggeri (pur in presenza di numerosi telefoni cellulari contemporaneamente emittenti radiofrequenza), in questo lavoro è stata approfondita l'analisi della valutazione dei livelli ambientali di campo elettromagnetico possibili nelle condizioni di esposizione peggiori.

Figura 2b
Sezione orizzontale/longitudinale di un ATR42 con sedili passeggeri (D: porta, G: cucina, T: toeletta, C: guardaroba)



Metodi e modelli

In particolare, è stato condotto uno studio, basato su simulazioni numeriche, del campo elettromagnetico irradiato da telefoni cellulari all'interno di un aeromobile, al fine di valutare il livello di esposizione dei passeggeri e del personale di servizio. L'analisi ha considerato una condizione di caso-peggiore dal punto di vista dell'esposizione, allo scopo di valutare se i livelli di riferimento fissati dall'ICNIRP¹² possano essere raggiunti o superati. Si è scelto di affrontare il calcolo del campo elettromagnetico all'interno di un aeromobile commerciale di relativamente piccole dimensioni (ATR42, figura. 2a), per semplificare il problema e ridurre i tempi di calcolo. L'ATR42 è un velivolo bimotore a elica, con lunghezza di 22,7 m e altezza di 7,7 m, che prevede il trasporto di 42 passeggeri (figura 2b). Il codice di calcolo utilizzato (CST Microwave Studio 5.0) si basa sul metodo degli integrali finiti (finite integral technique, FIT)¹⁴, ed è dotato di un'interfaccia grafica evoluta di tipo CAD per la creazione di modelli di strutture, nonché di una procedura automatica, basata su un sistema esperto, per la generazione del grigliato. Le simulazioni numeriche sono state realizzate considerando una geometria essenziale e condizioni molto semplificate, ma che, da un punto di vista elettromagnetico, possono simulare una condizione di caso-peggiore per l'esposizione. Nello sviluppo del modello numerico dell'aeromobile è stata considerata solo la cabina passeggeri. Il modello consiste di una cavità cilindrica chiusa con base ellittica, rappresentante la cabina passeggeri, troncata longitudinalmente nella parte inferiore dal piano di appoggio dei sedili e del corridoio (figura 3). Il materiale considerato per le pareti è l'alluminio (avente una conducibilità elettrica $\sigma = 3,73 \cdot 10^7$ S/m). Le dimensioni effettive del modello numerico sono di 16,4 m

di lunghezza, 2,6 m di larghezza, 1,9 m di altezza rispetto al piano del corridoio. Per simmetria di calcolo sono stati considerati 40 posti disposti a coppia su entrambi i lati del corridoio centrale. La configurazione riproduce con sufficiente realismo la disposizione dei posti dell'aeromobile ATR42.

Le sorgenti, simulanti telefoni radiomobili GSM operanti a 1800 MHz, sono dipoli a semi-onda, funzionanti alla frequenza di 1800 MHz e alimentati nominalmente con 1 W di potenza. I dipoli sono posizionati all'altezza di 1,1 m dal pavimento (corrispondente al livello della testa di un individuo adulto in posizione seduta). Ogni dipolo è alimentato mediante una porta discreta, posta nel traferro del dipolo, in cui è impresso un impulso gaussiano modulante l'ampiezza di una sinusoide a 1800 MHz. Il grigliato generato dal sistema esperto del codice ha un passo variabile, con una risoluzione minima di circa 1 mm (corrispondente a $1/160$ della lunghezza d'onda λ alla frequenza di 1800 MHz). Inoltre, è stato implementato un modello semplificato di passeggero adulto in posizione seduta; si tratta di un fantoccio cilindrico (raggio di 15 cm, altezza 1,2 m), avente una massa di circa 80 kg e le cui proprietà fisico-dielettriche sono quelle del sangue, vicine ai valori mediati su tutti i tessuti del corpo: densità $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, conducibilità elettrica $\sigma = 2 \text{ S/m}$, permittività $\epsilon_r = 59,4$ (queste ultime grandezze sono riferite alla frequenza di 1800 MHz).

Risultati

Sono stati esaminati tre casi paradigmatici dal punto di vista della distribuzione del campo elettromagnetico all'interno della cabina, differenti per numero e disposizione delle sorgenti: 1) 4 sorgenti in corrispondenza dei quattro sedili disposti agli estremi della cabina (lato finestrino), in modo da esaltare al massimo le

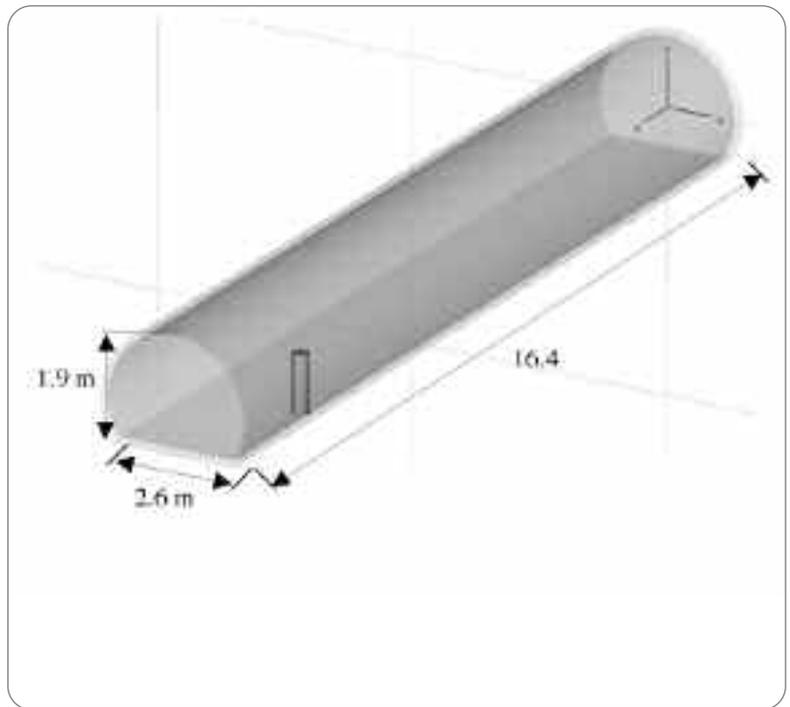


Figura 3
Modello numerico della cabina passeggeri con una sorgente e un simulatore dielettrico di passeggero

condizioni di un utilizzo limitato dei telefoni nel volume considerato; 2) 24 sorgenti, disposte alternativamente sul lato corridoio e sul lato finestrino in tutte le file di sedili, così da ottenere una distribuzione regolare di sorgenti nel volume considerato, rappresentativa di un utilizzo esteso dei telefoni (57% dei passeggeri impegnati in conversazione); 3) 4 sorgenti disposte come nel caso 2), ognuna a contatto con un fantoccio (simulante un passeggero). Per i casi suddetti sono state calcolate le distribuzioni dei campi elettrico e magnetico all'interno della cabina.

Nelle figure 4 e 5 sono illustrate rispettivamente le distribuzioni dei campi elet-

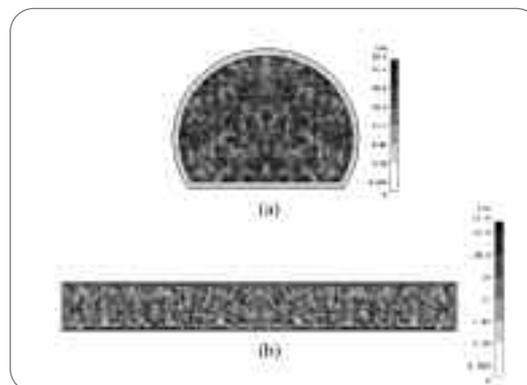
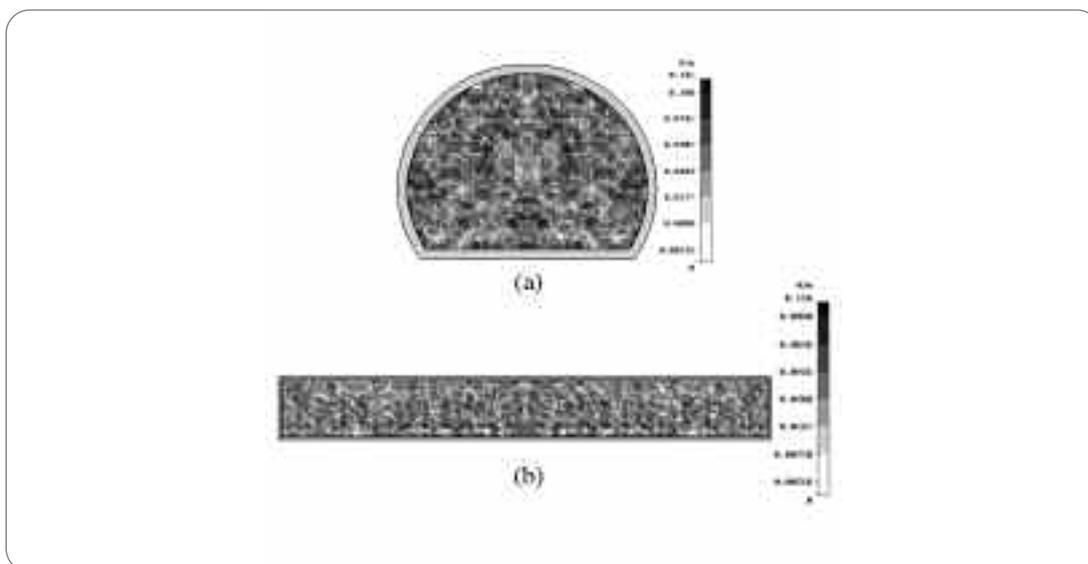


Figura 4
Distribuzioni calcolate del campo elettrico, normalizzate a 1 W di potenza irradiata da ogni sorgente: in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria longitudinale, che taglia il corridoio della cabina (a); in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria trasversale, che passa per la fila mediana di sedili (b)

Figura 5

Distribuzioni calcolate del campo magnetico, normalizzate a 1 W di potenza irradiata da ogni sorgente: in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria longitudinale, che taglia il corridoio della cabina (a); in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria trasversale, che passa per la fila mediana di sedili (b)



trico (E) e magnetico (H), riferite al caso (II) e normalizzate a 1 W di potenza irradiata da ogni sorgente, in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria trasversale, che passa per la fila mediana di sedili ($z = 8,2$ m, figure 4a e 5a), e in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria longitudinale, che taglia il corridoio della cabina ($x = 0$ m, figure 4b e 5b). Le distribuzioni dei campi E e H sono sostanzialmente uniformi, con alcuni "punti caldi" (*hot-spots*): una situazione tipica di una cavità con pareti metalliche, caratterizzata da propagazione e riflessione sulle pareti. I valori delle intensità del campo elettromagnetico nei punti caldi, se normalizzati alla potenza di 0,125 W (pari alla potenza media massima irradiata da un telefono GSM operante a 1800 MHz), sono comunque inferiori ai limiti di riferimento stabiliti dall'ICNIRP¹².

Nella tabella 5 è riportato un riepilogo

dei risultati per i tre casi esaminati, normalizzati alla potenza di 0,125 W. Confrontando i valori riportati nella tabella 5 con i limiti di riferimento riportati nella tabella 4, si può vedere che, in tutti e tre i casi considerati, i livelli di campo elettrico e magnetico calcolati all'interno della cabina passeggeri sono molto inferiori ai limiti di riferimento stabiliti dall'ICNIRP¹² e non eccedono, tranne che in alcuni punti caldi del caso (2), i limiti della ben più restrittiva normativa italiana. Inoltre, i risultati riportati nella tabella 5 evidenziano che, a parità di configurazione delle sorgenti (casi 1 e 3)), la presenza di masse dissipative (i fantocci) molto vicine alle sorgenti (caso (3)) determina una forte riduzione (> 60%) delle intensità medie dei campi elettrico e magnetico rispetto al caso (1). Il caso (3) si avvicina maggiormente ad una configurazione reale, con i telefoni tenuti in mano dagli utenti.

Tabella 5.

Analisi delle distribuzioni di campo elettrico e magnetico, normalizzate alla potenza di 0,125 W, in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria trasversale (Piano T) e in una sezione verticale in corrispondenza dell'asse di simmetria longitudinale (Piano L)

CASO	CAMPO ELETTRICO E (V/m)						CAMPO MAGNETICO H (A/m)					
	MEDIA		DEV. STD.		MASSIMO		MEDIA		DEV. STD.		MASSIMO	
	Piano T	Piano L	Piano T	Piano L	Piano T	Piano L	Piano T	Piano L	Piano T	Piano L	Piano T	Piano L
(I)	3,44	2,41	1,30	0,93	7,93	8,66	0,014	0,011	0,005	0,004	0,032	0,031
(II)	9,56	8,46	3,38	3,11	23,24	24,50	0,043	0,032	0,013	0,011	0,093	0,093
(III)	0,94	0,78	0,33	0,24	2,35	1,90	0,004	0,003	0,001	0,001	0,010	0,008

(I) 4 sorgenti in corrispondenza dei quattro sedili disposti agli estremi della cabina (lato finestrino).

(II) 24 sorgenti, disposte alternativamente sul lato corridoio e sul lato finestrino in tutte le file di sedili.

(III) 4 sorgenti disposte come nel caso (I), ognuna a contatto con un fantoccio (simulante un passeggero).

Conclusioni e prospettive

È stato condotto uno studio, basato su simulazioni numeriche, per valutare i livelli di campo elettromagnetico prodotti dall'uso di telefoni cellulari nell'ambiente all'interno della cabina passeggeri di un aeromobile. I risultati dell'analisi sono riferiti a una condizione di caso-peggiore dal punto di vista espositivo: sorgenti irradianti alla massima potenza in una cavità metallica chiusa, in assenza degli utenti, di fatto masse dissipative (casi (1) e (2)). In tutti i casi esaminati, i livelli di campo elettrico e magnetico riscontrati nella cabina passeggeri sono molto inferiori ai limiti di riferimento stabiliti dalle normative internazionali di protezione. Nel caso siano considerati anche i passeggeri (caso (3)), a parità di condizioni di irraggiamento delle sorgenti, è stata valutata una riduzione dei livelli di campo elettromagnetico nella cabina superiore al 60%.

In una situazione reale, sarebbe necessario installare a bordo una pico-cella dedicata. Questa eviterebbe i disturbi alla rete cellulare di terra e consentirebbe il funzionamento dei terminali radio-mobili con livelli di potenza sensibilmente inferiori (di oltre 100 volte) alla potenza massima, così riducendo ulteriormente i livelli di campo elettromagnetico irradiato nell'ambiente. Ne consegue che, in una condizione d'uso reale dei telefoni cellulari a bordo, l'esposizione dei passeggeri e del personale di assistenza presenterebbe livelli sensibilmente inferiori ai limiti di riferimento stabiliti anche dalle normative più restrittive. Per quanto concerne il rischio di possibili interferenze sui sistemi di navigazione di bordo, studi sperimentali recenti³, riguardanti telefoni cellulari GSM e CDMA in condizioni di normale operatività, hanno evidenziato che nessuno dei telefoni esaminati è in grado di causare disturbi. A maggior ragione, l'installazione a bordo

dell'aeromobile di una pico-cella dedicata, riducendo sensibilmente la potenza emessa dei telefoni, abbatterebbe ulteriormente il rischio di possibili interferenze.

Bibliografia

1. E. Ross, "Personal Electronic Devices and Their Interference With Aircraft Systems", NASA/CR-2001-210866, Jun. 2001.
2. T. X. NGUYEN and J. J. ELY, "Determination of Receiver Susceptibility to Radio Frequency Interference from Portable Electronic Devices", AIAA DASC Conference, Oct. 2002.
3. J. J. ELY, T. X. NGUYEN, S. V. KOPPEN, M. T. SALUD, "Electromagnetic Interference Assessment of CDMA and GSM Wireless Phones to Aircraft Navigation Radios," AIAA DASC Conference, Oct. 2002.
4. Federal Communications Commission (FCC). "Ultra-Wideband Transmission Systems". Federal Register, vol.67, n. 95, 5/16/02, 2002.
5. Radio Technical Commission for Aeronautics (RTCA), "Environmental Conditions and Test Procedure for Airborne Equipment", RTCA DO-160D, Jul. 1997.
6. European Organisation for Civil Aviation Equipment (EUROCAE), "Guide for the certification of aircraft in a high intensity radiated field (HIRF) environment", EUROCAE/ED-107, Mar. 2001.
7. EUROCAE, "Radio frequency susceptibility test procedures", EUROCAE/ED-90A, Mar. 2003.
8. RTCA/EUROCAE, "Environmental conditions and test procedures for airborne equipment", RTCA/DO-160E / EUROCAE/ED-14E, Jan. 2005.
9. World Health Organization (WHO), International EMF Project, "Health and environmental effects of exposure to static and time varying electric and magnetic fields", www.who.int/peh-emf.
10. FCC, "Evaluating compliance with FCC guidelines for human exposure to radiofrequency electromagnetic fields", FCC, Washington, DC, OET Bull. 65, Aug. 1997.
11. Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (CENELEC), "Basic standard for the measurement of

Specific Absorption Rate related to human exposure to electromagnetic fields from mobile phones (300 MHz–3 GHz)", CENELEC Standard EN 50361, 2001.

12. International Commission on Non-Ionising Radiation Protection (ICNIRP), "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", Health Physics, vol. 74, no. 4, pp. 494-522, Apr. 1998.

13. Council of European Union, "Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields 0 Hz - 300 GHz", Brussels, 8550/99, 25 Jun. 1999.

14. T. WEILAND, "A Discretization Method for the Solution of Maxwell's Equations for Six-Component Fields", Electronics and Communications (AEÜ), vol. 31, pp. 116 ff., 1977.

Acronimi

Sistemi di comunicazione cellulare

AMPS	American analog advanced Mobile Phone System
CDMA	Code Division Multiple Access
DCS	Digital Cellular System
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GSM	Global System for Mobile communications
iDEN	integrated Digital Enhanced Network

PCS	Personal Communications Service
TACS	Total Access Communications System
TDMA	Time Division Multiple Access
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

Radio-sistemi aeronautici di bordo

AMSS	Airborne Mobile Satellite Service
ATC	Air Traffic Control
DME	Distance Measurement Equipment
GPS	Global Positioning System
GS	Glidescope
MB	Marker Beacon
MLS	Microwave Landing System
LOC	Localiser
TACAN	Tactical Air Navigation
TCAS	Traffic Collision Avoidance System
VOR	VHF Omni Range

Enti normatori

EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
FCC	Federal Communications Commission
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics

I depuratori domestici dell'acqua potabile

MASSIMO PIZZICHINI,
ALFONSO POZIO,
CLAUDIO RUSSO

ENEA
UTS Biotecnologie, Protezione
della Salute e degli Ecosistemi



studi & ricerche

Il problema di migliorare la qualità dell'acqua di rete, servendosi di piccoli depuratori domestici, è sempre più attuale. Ma è necessario vigilare al fine di garantire l'utente sulla efficacia e affidabilità dei potabilizzatori: ciò implica anche la definizione di un quadro normativo chiaro

Home *drinking-water purifiers*

Abstract

To solve the widespread problem of contaminated drinking water, home purifiers are now sold in Italy as well as other countries. This article describes how these devices work, how safe they are to use and how safe the water they produce, in the broad context of regulations on drinking water and mineral water. A new device being developed by ENEA to treat municipal water and ground water could provide greater chemical and bacteriological safety. However, the appearance of these new systems makes it necessary to update existing regulations

L'acqua è la più importante risorsa naturale necessaria allo sviluppo e alla sopravvivenza del genere umano. Gli esseri viventi, fra cui l'uomo, sono costituiti d'acqua per oltre il 65%.

L'acqua è fondamentale per le funzioni biologiche, quindi è importante per la salute e il benessere dell'uomo.

La carenza d'acqua nel pianeta dipende dai cambiamenti climatici, dalla crescita della popolazione, dal cambiamento dello stile di vita specialmente nei paesi industrializzati ¹.

L'acqua purtroppo non è un bene comune, cioè non è garantita e disponibile per tutti, come l'aria, ma risulta un privilegio per le società più avanzate, e un miraggio per i paesi poveri.

Attualmente circa un miliardo e mezzo di persone non hanno accesso all'acqua potabile (Africa, Asia, Sud America, India), e si stima ragionevolmente che nel 2025 raggiungeranno i tre miliardi ^{2,3}. Oltre 3.000 persone al giorno muoiono per mancanza d'acqua o perché impiegano acque contaminate. La scarsa disponibilità idrica è drammatica per i paesi in via di sviluppo, ma coinvolge anche quelli industrializzati.

In un continente industrializzato come il nostro, la qualità dell'acqua risulta fortemente compromessa dalle attività industriali e dalla densità di popolazione ⁴.

Il prezzo dell'acqua potabile, che comprende anche la quota di depurazione dei reflui, è indicativo anche del livello di contaminazione dell'acqua primaria di falda o da altre fonti.

Questo è il costo del metro cubo d'acqua potabile in Europa: 4,2 € a Berlino; 2,9 € a Zurigo; 1,85 € a Bruxelles; 0,9 € ad Atene; 0,62 € a Roma.

L'acqua in Europa è largamente trattata chimicamente per evitare rischi di contaminazione specialmente se si considera un distretto industriale di certe dimensioni, con tipologia produttiva a rischio ambientale (cementifici, raffinerie, con-

cerie, industrie chimiche, farmaceutiche ecc.).

Le principali contaminazioni derivano dalle seguenti sostanze: ammonio, nitriti, nitrati, solfati e fosfati, metalli pesanti, fra cui cromo III e cromo VI, arsenico, piombo, cadmio, mercurio, idrocarburi clorurati, tensioattivi, pesticidi ecc.

I metalli pesanti sono associati a certe tipologie di produzione industriale, metallurgiche, galvaniche, conciarie, mentre contaminanti di tipo organico sono associati ad industrie petrolchimiche, di materie plastiche, farmaceutiche ecc.

Alcune regioni italiane presentano quadri di contaminanti delle acque di falda tipici delle tipologie industriali; ad esempio in Lombardia i contaminanti derivanti dalle attività dell'uomo sono: l'azoto nitrico, il nichel, il cromo l'arsenico, i pesticidi, i composti organici alogenati, gli idrocarburi policiclici aromatici.

Quadro normativo sulle acque ad uso potabile

Una rapida analisi del quadro normativo ci permetterà di capire la distinzione fondamentale che esiste tra acque minerali ed acque adatte al consumo umano o potabili. Questa premessa è importante perché, come vedremo, i dispositivi domestici che possono legalmente essere commercializzati devono obbligatoriamente trattare acque già adatte al consumo umano o potabili. Tuttavia l'acqua prodotta da tali dispositivi da un punto di vista qualitativo si può avvicinare maggiormente alle caratteristiche di un'acqua scarsamente mineralizzata o oligominerale. Per definizione, tuttavia non può essere definita tale perché non ha la stessa provenienza. Quindi, in presenza di un'acqua "buona da bere" ma non potabile.

La normativa vigente nel nostro Paese individua tre tipi di acque destinate al consumo umano: le "acque idonee al con-

sumo umano" (meglio conosciute come "acque potabili"), le "acque minerali" e le "acque di sorgente"⁵.

Circa la definizione d'acqua potabile, il DPR 236/88 e il DL 27/2002 stabiliscono i requisiti di qualità che devono possedere le acque destinate al consumo umano, qualunque ne sia l'origine (sia se vengano prelevate direttamente alla fonte, sia se vengano distribuite da acquedotti pubblici). Secondo tale decreto, che recepisce la direttiva europea 80/778, un'acqua per definizione si dice potabile quando è limpida, trasparente, incolore, non contiene sostanze dannose alla salute (batteri patogeni), e se la quantità dei sali in essa disciolti non supera i valori stabiliti nelle tabelle allegate alla legge stessa.

Oltre i valori di CMA (Concentrazione Massima Ammissibile) dei sali disciolti, lo stesso DPR introduce il concetto di valori guida di concentrazione (VG) che vengono intesi all'art. 3 comma 3 come: "Obiettivi al cui raggiungimento l'attività amministrativa deve tendere". Infine stabilisce allo stesso articolo, comma 4, la concentrazione minima richiesta per le acque che subiscono addolcimento.

Se l'acqua della rete idrica è prelevata da laghi, sorgenti, pozzi o falde acquifere, ed i parametri non rientrano nei limiti di legge prescritti, essa è immessa negli impianti di potabilizzazione per un trattamento specifico, anche disinfettante, attraverso l'aggiunta di composti del cloro, che prevengono anche eventuali contaminazioni durante la distribuzione. Le acque minerali naturali sono ben altra cosa rispetto all'acqua potabile: il DL 105/92 spiega che un'acqua minerale deve avere: "Un'origine profonda e protetta, essere confezionata all'origine, avere la purezza batteriologica originaria, avere caratteristiche batteriologiche



Figura 1
Il Lago di Bracciano,
riserva idrica del
Comune di Roma

costanti ed effetti favorevoli alla salute...", sono cioè delle acque medicinali che, in considerazione delle sostanze ivi disciolte, "sono dotate di particolari virtù terapeutiche".

Proprio per la loro peculiare caratteristica, queste acque, sono state regolamentate, anche in sede europea, con appropriata legislazione* che ha permesso alcune deroghe dai limiti imposti dall'allegato uno del DPR 236/88.

Il DM n. 542/92 e il DM n. 11/9/2003 stabiliscono i criteri di valutazione delle caratteristiche che devono avere tali acque, fissando i valori limite d'alcune sostanze contaminanti presenti (floruri, arsenico, antimonio ecc.).

Le acque che non hanno "effetti favorevoli alla salute" sono invece classificate con il termine di "acque di sorgente".

Esse possono essere imbottigliate e commercializzate, ma rientrano negli ambiti dei DPR 236/88, DL 31/2001 e 27/2002 (parametri da rispettare). Le acque di sorgente non possono subire trattamenti di potabilizzazione, aggiunta di sostanze battericide o batteriostatiche, e qualsiasi altro trattamento suscettibile di modificare il microbismo dell'acqua (DL 339/99).

* Infatti il DPR 236/88, all'art. 2 comma 2 stabilisce che: "restano escluse dal campo di applicazione del presente decreto le acque minerali e termali".

Tutte o quasi le acque italiane commercializzate sono considerate dal legislatore minerali naturali, come si deduce dall'elenco pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* della Comunità Europea 24/99 del 7/7/2000.

Le acque minerali, quelle di sorgente e quelle potabilizzate sono "adatte al consumo umano", ma il concetto di qualità è solo in parte univoco. Infatti, tutte devono essere batteriologicamente pure e non devono contenere sostanze tossiche o nocive, oltre certe concentrazioni indicate per legge. Tuttavia, i valori limite di queste concentrazioni possono essere maggiori o minori per le acque minerali, in alcuni casi addirittura indefiniti rispetto ai valori imposti per acque potabili e di sorgente. Ad esempio, la presenza di cadmio oltre i 5 mg/L rende non potabile l'acqua di rubinetto, mentre nell'acqua minerale può essere maggiore di 10 mg/L senza neanche incorrere in obblighi di comunicazione; per il nichel, considerato nocivo nell'acqua di casa se supera i 20 mg/L di concentrazione, non è addirittura prevista alcuna soglia limite nelle acque minerali imbottigliate; il cromo totale (nelle forme esavalente e trivalente) è consentito nella misura massima di 50 mg/L nell'acqua di rubinetto, mentre è tollerato fino a 50 mg/L nella sola forma esavalente nelle acque minerali e non è previsto alcun valore limite per il cromo totale; per gli altri veleni come il piombo, il mercurio ed il selenio le percentuali massime consentite (CMA) nell'acqua di rubinetto sono le stesse che la normativa sulle acque minerali indica come soglia oltre la quale è prevista la semplice comunicazione al Ministero e l'indicazione in etichetta.

Perché è così difficile conciliare il quadro normativo per le due categorie? Il buon senso vorrebbe che si definisse un'unica tipologia di acqua adatta per il consumo umano precisando limiti uguali sia per le acque minerali che per quel-

le potabili e di sorgente. Ciò che rende inattuabile quest'ipotesi è che la legge stabilisce le operazioni consentite e non sulle acque minerali.

L'acqua minerale non può essere potabilizzata, può essere trattata solo per separare alcuni componenti indesiderabili, comunque senza modificare la composizione salina in quelle componenti caratteristiche.

Le concentrazioni massime ammissibili sono importanti per i dispositivi di addolcimento delle acque, poiché riducono le concentrazioni di sali presenti e dunque non si potrà mai avere il caso in cui un'acqua già potabile, dopo essere stata trattata aumenti la sua concentrazione salina. Si potrà avere invece il caso in cui detto dispositivo produca un'acqua minimamente mineralizzata, quindi "non potabile" per la legge, ma simile ad acque minerali in commercio, a cui sono associate anche proprietà terapeutiche.

La contraddizione sta nel fatto che vi sono acque minerali naturali adatte al consumo umano ma che non si definiscono potabili.

Acqua di qualità e qualità dell'acqua

L'art. 3 del DPR 236/88, dal titolo: Requisiti di qualità, riporta testualmente:

1. I requisiti di qualità delle acque sono valutati sulla base dei valori e delle indicazioni relativi ai parametri di cui all'allegato I.
2. La concentrazione massima ammissibile di ciascun parametro non può essere superata.
3. I valori guida costituiscono obiettivi al cui raggiungimento l'attività amministrativa deve tendere.
4. Per le acque che subiscono un trattamento di addolcimento sono specificati, all'allegato I, i valori della concentrazione minima richiesta.
5. I valori che sono indicati nell'allegato

I devono essere interpretati per ciascun parametro tenendo conto delle osservazioni eventualmente riportate nel medesimo allegato.

I commi 2 e 3 dicono che per le acque potabili si definisce un massimo ed un minimo di concentrazioni saline ammissibili. Vediamo come si è arrivati a tale formulazione.

Nella tabella 1 si riportano le concentrazioni saline presenti nel sudore e nel plasma sanguigno.

In linea teorica, l'acqua dovrebbe avere un contenuto in sali non superiore ai 150 mg/L e una composizione salina proporzionale a quella del sudore, in modo da garantire all'organismo l'equilibrio salino fisiologico. Questo non significa che acque che si discostino da questi valori siano dannose. Il corpo umano è dotato di meccanismi di regolazione che consentono l'assimilazione di acque con contenuti salini molto diversi da quelli indicati in tabella, senza che vi siano conseguenze negative. Anzi, laddove intervengano patologie particolari può essere preferibile utilizzare acque con composizioni diverse. Proprietà terapeutiche specifiche dell'acqua sono associate alla presenza di composti salini come solfati, carbonati, bicarbonato, acido carbonico, calcio, sodio, zolfo, fluoro, iodio, potassio, magnesio ecc. In questi casi dunque la qualità dell'acqua è relativa alla necessità specifica dell'utente.

In questo scenario si collocano le acque minerali, per le quali il criterio di qualità si dovrebbe intendere come l'insieme delle condizioni alle quali un dato elemento chimico, presente nell'acqua, possa influire con il normale svolgimento dei processi metabolici del nostro organismo. Concentrazioni troppo alte o troppo basse rispetto al fabbisogno possono alterare l'equilibrio dell'organismo e creare le condizioni affinché un'acqua debba sconsigliarsi per categorie di soggetti più suscettibili.

	Sudore (mg/L)	Plasma (mg/L)
Osm	126	203
Sodio (Na ⁺)	54	96
Cloro (Cl ⁻)	74	3,0
Potassio (K ⁺)	12	1,0
Magnesio (Mg ²⁺)	3	1,1
Calcio (Ca ²⁺)	3	2,1

Tabella 1
Composizione di ioni minerali del sudore e del plasma

La qualità dell'acqua potabile dipende strettamente dalle risorse idriche del territorio in cui viene prelevata. Non sempre è possibile rispettare i valori guida e addirittura, in alcuni casi, anche i valori massimi consentiti possono essere superati.

Per le eventuali contaminazioni batteriologiche, i controlli di *routine* garantiscono fino all'immissione in rete, ma non tutelano il consumatore nella parte finale del percorso quando le diramazioni della condotta idrica si moltiplicano. Per le acque minerali naturali il concetto di qualità è più complesso e non dovrebbe essere disgiunto dalle virtù terapeutiche. Infatti, le acque minerali possono avere concentrazioni di alcuni elementi superiori alla CMA prevista per l'acqua potabile o inferiori al valore guida (VG), e addirittura inferiori al valore minimo consentito, per le acque che subiscono trattamento di addolcimento.

Ad esempio, un'acqua con basse concentrazioni di sodio e potassio può considerarsi ottima per persone con problemi renali e non adatta agli atleti.

La distinzione principale tra le acque minerali si può fare in base alla quantità e alla qualità dei sali contenuti. Ogni sale, infatti, ha un'azione specifica sulla salute in rapporto alla dose. In base alla quantità totale di sali (indicata in etichetta come "residuo fisso a 180 °C"), le acque minerali in Italia vengono distinte per legge in quattro categorie.

1. Acque minimamente mineralizzate: sali inferiori a 50 mg/L

Rappresentano circa il 9% delle acque minerali italiane in commercio e sono quelle con il minor contenuto assoluto di sali, quindi il loro assorbimento per via gastrica è rapidissimo. Queste acque determinano un marcato aumento della diuresi e trovano la loro principale indicazione nella cura della calcolosi delle vie urinarie.

Le acque minimamente mineralizzate e a basso volume di pH impiegate nella calcolosi renale non hanno la funzione di solubilizzare i fosfati e gli ossalati che formano i calcoli e che sono praticamente insolubili, ma quella di impedire che questi cristalli si uniscano ed aumentino di dimensione. Pertanto il loro uso, come quello delle acque oligominerali, esplica una funzione preventiva sui sali insolubili, favorendo l'eliminazione dell'acido urico e facilitando l'eliminazione dei prodotti di rifiuto del metabolismo. Interessante è il loro uso in pediatria, per la ricostituzione del latte in polvere: infatti queste acque non modificano il contenuto salino del latte e quindi non sconvolgono una formula accuratamente studiata. Queste acque trovano inoltre una felice collocazione in tutte le situazioni in cui è necessario un intervento dietetico caratterizzato da un ridotto apporto di sodio, come ad esempio nell'ipertensione arteriosa.

2. Acque oligominerali o leggermente mineralizzate: sali non oltre 500 mg/L

Le due categorie comprendono le acque leggere, diventate di moda perchè si associano alla facilità digestiva.

Le oligominerali rappresentano il 56% delle acque minerali italiane in bottiglia e sono contraddistinte da una azione diuretica. L'effetto principale di queste

acque è infatti quello di favorire la diuresi e trovano indicazione elettiva nella prevenzione della calcolosi renale. Queste acque svolgono, così come le minimamente mineralizzate, un'azione locale antispastica sulla muscolatura delle vie urinarie che, associata all'azione meccanica propria data dal passaggio del liquido, causano il progressivo trasporto di eventuali calcoli lungo le vie urinarie favorendone la loro espulsione.

Di estremo interesse clinico, anche se il meccanismo d'azione è controverso, è l'azione che queste acque esercitano sul metabolismo purinico, con l'eliminazione dell'azoto ed acido urico con le urine.

3. Acque minerali: sali tra 500 e 1500 mg/L

L'uso quotidiano di acque minerali con oltre 1000 mg/L di residuo fisso può portare un eccesso di sali nella dieta, specie per quanto riguarda il sodio (controindicato per gli ipertesi). Per questo gli esperti consigliano di alternarle con acque oligominerali.

Rappresentano il 24% delle acque attualmente in commercio. Una classificazione delle acque oligominerali ha uno scarso valore biologico e terapeutico, se non accompagnata da una suddivisione qualitativa (vedi contenuto in ioni). L'azione di queste acque è analoga a quella delle acque oligominerali, sebbene l'effetto diuretico diminuisca progressivamente con l'aumentare del residuo fisso. La maggior parte delle acque mineralizzate è ricca di bicarbonati e presentano attività e indicazioni intermedie fra acque oligominerali e acque ricche in sali minerali.

4. Acqua "ricca in sali minerali": sali oltre i 1500 mg/L

Sono sconsigliate per il consumo quoti-

diano. Di solito si usano a scopo terapeutico per l'elevata presenza di sodio, solfati, potassio, magnesio ed altri sali. Solo l'11% delle acque minerali italiane in commercio rientra in questo gruppo e sono acque che superano il valore massimo ammissibile di residuo fisso previsto dalla legge per la comune acqua potabile. In questo gruppo, dove le anomalie compositive sono sovente la regola, rientrano le più note acque medicamentose.

L'assunzione di queste acque per uno scopo terapeutico preciso andrebbe fatto sotto diretto controllo del medico e ciò al fine di evitare un uso improprio e la conseguente comparsa di effetti indesiderati (un'azione purgativa esagerata, rischi nell'ipertensione arteriosa, nella calcolosi ecc.).

Dopo aver fatto la prima selezione sulla base della quantità di sali, il consumatore può scegliere l'acqua con il contenuto desiderato di sali minerali, corrispondente alle qualità cliniche dichiarate in etichetta. Le possibili diciture devono essere autorizzate dal Ministero della Sanità o dalle autorità regionali preposte. Vediamo alcuni esempi.

Acque bicarbonate (bicarbonato sopra i 600 mg/L)

Dovrebbero favorire la digestione, perché il bicarbonato abbassa l'acidità nella prima parte dell'intestino (duodeno), favorendo l'azione degli enzimi del pancreas. In genere il bicarbonato è associato al calcio e all'anidride carbonica (sotto forma di bollicine), che se eccessiva può dare fastidio ai sofferenti di gastrite o di ulcera.

Il calcio conferisce a queste acque un sapore gradevole, purché non in eccesso. Favoriscono la digestione, accelerando lo svuotamento gastrico, se bevute durante i pasti; tamponano l'acidità gastrica se assunte a digiuno. L'indicazione

classica di queste acque è rappresentata per i disordini epatobiliari: indubbia è l'azione positiva del bicarbonato nell'insufficienza epatica e sui fenomeni spastici delle vie biliari. Le acque bicarbonate sono indicate anche in chi fa sport, in quanto bicarbonato e calcio sono in grado di neutralizzare le scorie del metabolismo muscolare (acido lattico).

Acqua calcica (calcio sopra i 150 mg/L)

Utile per chi non beve latte o ama poco i latticini, per le donne incinte o in menopausa e per i ragazzi in crescita. Agiscono soprattutto a livello dello stomaco e del fegato. Da uno studio condotto negli Stati Uniti su una popolazione di oltre 10.000 individui è emerso come quantitativi di 800 mg di calcio al giorno siano in grado di ridurre il rischio di ipertensione negli uomini.

Acqua carbonica (CO₂ superiore a 250 mg/L)

Nel linguaggio comune si è soliti definire naturale l'acqua non gassata; in realtà a rigor di legge la dizione "naturale" indica che l'acqua viene imbottigliata così come sgorga dalla sorgente. L'acqua non gassata, commercialmente viene definita "piatta".

Diventa "addizionata" quando all'acqua piatta viene aggiunto un quantitativo variabile di anidride carbonica non proveniente dalla stessa sorgente. Si definisce acidula se la quantità di CO₂ aggiunta è superiore a 250 mg/L. Quando la CO₂ alla sorgente è uguale o supera il livello sopra indicato l'acqua è "naturalmente gassata" o "effervescente naturale".

L'acqua minerale può poi essere parzialmente o totalmente degassata oppure rinforzata con il gas della sorgente. È noto che la "gasatura" viene praticata per rendere l'acqua maggiormente appetibile, e a volte per migliorarne i carat-

teri organolettici. Le acque gassate dissetano meglio, in quanto anestetizzano le terminazioni nervose della mucosa orale coinvolte nel desiderio di bere e inducono dilatazione dello stomaco con conseguente apparente sazietà. Svolgono inoltre una leggera attività batteriostatica. Queste acque risultano controindicate in soggetti che soffrono di acidità di stomaco, gastrite od ulcera gastrica.

Acqua sodica (sodio sopra i 200 mg/L)

Sconsigliata agli ipertesi e a chi segue una dieta a ridotto contenuto di sale. Questo ione (Na^+) ha una funzione biologica importante, in quanto influenza positivamente l'eccitabilità neuromuscolare. Tuttavia un'acqua con un contenuto elevato è controindicata nei soggetti ipertesi. Le sue concentrazioni massime ammissibili (CMA) stabilite da un gruppo di lavoro dell'OMS è di 120 mg/L. Acque con tenore di sodio inferiore ai 20 mg/L sono suggerite nelle diete povere di sodio.

Acqua nitrica - ione nitrato (NO_3)

Un pericolo per le acque in genere e in particolare per le minerali è costituito dalla presenza di quantità eccessive di nitrati: il grado di inquinamento da nitrati è in continuo aumento.

Delle 240 acque minerali commercializzate nel 1982 solo 28 risultavano senza nitrati; nel 1989 sono rimaste 11, delle quali 4 possedevano un'analisi chimica datata 1983. Nel 1993, erano 6 le acque minerali che non riportavano i nitrati in etichetta, mentre nel 1995 le minerali prive di nitrati erano 11. I nitrati, ultima fase di ossidazione dell'azoto (azoto>nitriti>nitrati), costituiscono un indice di inquinamento che può essere di natura organica, dovuto alle deiezioni animali, oppure di tipo inorganico, proveniente dagli insediamenti industriali (piogge acide

ricche di ossidi di azoto), ma soprattutto dai fertilizzanti azotati usati in agricoltura.

Il limite massimo fissato dall'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) e dalla direttiva CEE 778 del 15 luglio 1980 sulla "Qualità delle acque destinate al consumo umano" è di 50 mg/L; il numero guida invece è di 25 mg/L. Il limite riportato nel decreto del Ministero della Sanità per le acque minerali, 542 del 12 novembre 1992, è ridotto a 45 mg/L.

I valori superiori possono provocare nei neonati la metaemoglobinemia o *blue-baby syndrom* (cioè impediscono al sangue di portare l'ossigeno ai tessuti). I nitrati introdotti nell'organismo si riducono a nitriti e a contatto con le ammine ($-\text{NH}_2$) formano le nitrosammine, sospette di essere cancerogene. È bene quindi dare la preferenza ad acque con bassi valori di nitrati, specialmente se il prodotto è destinato a neonati o a donne in gravidanza.

Seguono alcune indicazioni, che frequentemente sono riportate sulle etichette: indicata per le diete povere di sodio (sodio sotto i 20 mg/L); indicata per la preparazione degli alimenti per neonati; acque con sali minerali e nitrati molto bassi per non interferire sulla composizione del latte in polvere. Si trovano quasi tutte nel gruppo delle "minimamente mineralizzate".

Può avere effetti lassativi: la dicitura si trova sulle acque ricchissime di sali minerali. Può avere effetti diuretici: è la scritta più frequente, ma anche quella più abusata, perchè quasi tutte le acque, comprese quelle di rubinetto, sono in qualche modo diuretiche. Alcune, le più leggere, possono essere efficaci riducendo le calcolosi renali.

Microbiologicamente pura

Si dice di un'acqua che contiene un numero ridotto di microrganismi, nessu-

no dei quali pericoloso per la salute. Da queste classificazione si evince che le acque minimamente mineralizzate e le oligominerali non hanno alcuna controindicazione, mentre per quelle più ricche di sali, è opportuno valutare la composizione in funzione delle esigenze specifiche del consumatore. La tabella 2 sintetizza la funzione biologica e gli effetti indesiderati di talune sostanze presenti in eccesso. In base al DL 105 non è più obbligatorio riportare in etichetta l'analisi batteriologica dettagliata, e come previsto dal DM 1/2/1983 è consentito riportare la dicitura "microbiologicamente pura". Acqua microbiologicamente pura non vuol dire assenza assoluta di batteri, ma eventuale presenza di un certo numero e di certe specie di microrganismi. La legge impone tuttavia l'assenza completa di Coliformi, Streptococchi Fecali, Stafilococchi Aurei, Clostridi, Pseudomonas Aeruginosa.

Rispetto alle acque degli acquedotti le acque minerali non possono essere sottoposte a trattamenti di depurazione.

La legge prevede verifiche minuziose degli impianti e delle tubature: quotidianamente, presso i laboratori delle ditte produttrici, l'acqua deve essere sottoposta a controlli batteriologici che garantiscono la purezza. Inoltre sulle bottiglie in PET e PVC è riportato: "conservare al riparo dalla luce, in luogo fresco ed asciutto, pulito e senza odore". Indicazioni che non sempre sono garantite al consumatore. L'Italia è il maggior produttore al mondo di acque minerali, con circa 240 marchi, una produzione annua di oltre 10 milioni di m³, ed un giro d'affari di circa 3,5 milioni di € /anno.

Nell'etichetta delle acque minerali sono indicati i microelementi che svolgono funzioni fisiologiche, di conseguenza il consumatore dovrebbe essere in grado di scegliere l'acqua ottimale per le sue esigenze.

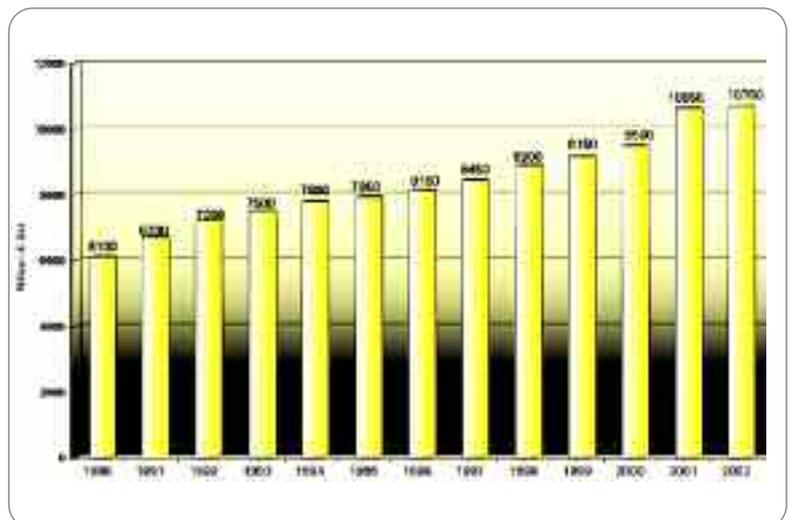
Sull'etichetta devono essere riportati i

composti che superano le CMA, tuttavia anche la recente normativa sulle acque minerali (DM 11/9/2003; decreto Sirchia), non si preoccupa di salvaguardare il consumatore da rischi di contaminazione da parte di sostanze tossiche e nocive, come tensioattivi, policloro bifenili, idrocarburi ecc. In tabella 3 si riportano le caratteristiche chimico-fisiche ed i valori dettati dalla normativa per le acque potabili. Sono state evidenziate in giallo le concentrazioni di elementi che si discostano notevolmente dai valori guida ed in nero le concentrazioni che non rispettano le CMA o i valori minimi di concentrazione richiesti per le acque potabili. L'uso ormai massiccio dell'acqua minerale comporta anche notevoli costi sociali, non sempre presi in considerazione. Ad esempio, quanto costa il trasporto su gomme dell'acqua dalle Alpi alla Sicilia. Dove finiscono le bottiglie di plastica a fine ciclo di vita? Che garanzie di sicurezza chimica offrono i contenitori in PET (polietilene tereftalato)?

Normativa sulle apparecchiature per il trattamento domestico di acque potabili

Le problematiche legate alla qualità delle acque minerali, di acquedotto o di sorgente hanno portato allo sviluppo di tec-

Figura 2
Produzione di acqua minerale negli ultimi 12 anni in Italia



nologie di trattamento tese a migliorarne le caratteristiche in rapporto alle richieste dei consumatori. È stato parzialmente regolamentato l'uso di mini depuratori domestici, ma la legge vigente è perfezionabile sul profilo della qualità del prodotto (DM n. 443/90).

Di fatto, sono state inquisite molte ditte fornitrici di dissalatori domestici perché accusate di produrre un'acqua con carat-

teristiche chimiche e microbiologiche inadeguate all'uso potabile.

Il decreto 443 stabilisce che tali dispositivi possano trattare soltanto acque già potabili, e che non possano essere propagandati o venduti come "depuratori d'acqua".

Il principale scopo di tale decreto è definire le condizioni generali e speciali che devono essere rispettate da tali appa-

Sostanza	Funzione Biologica	Valore Guida (mg/L)	Valore Limite (mg/L)	Fabbisogno Giornaliero (mg)	Effetti Indesiderati
Calcio	Formazione ossa e denti, coagulazione del sangue, regolazione della trasmissione nervosa	100	-	800 mg	Concentrazioni superiori a 100 mg/L influiscono sul sapore (sapore "molle")
Magnesio	Importante nell'attività del cervello, nervi e muscoli	30	50	300	Oltre 100 mg/L si verificano sapori sgradevoli (sapori "amari")
Sodio	Importante costituente liquidi organici, regolazione eccitamento nervoso e muscolare	20	175	7-15 g. come cloruro di sodio	Elevate quantità impartiscono sapore di lisciva all'acqua
Cloro	Importante costituente liquidi organici, controllo equilibrio idrosalino	25	200	(come per il sodio)	Oltre 250 mg/L può causare corrosioni delle tubazioni e sapori sgradevoli (sapore salino)
Potassio	Importante costituente cellulare, regola eccitamento nervoso	10	-	200	Carenza o eccesso di potassio provocano turbe muscolari e digestive
Ferro	Essenziale per la formazione dell'emoglobina	0,05	0,2	12	Oltre 0,2 mg/L provoca la colorazione gialla dell'acqua, torbidità, depositi di idrossido ferrico proliferazione di ferrobatteri, sapore sgradevole.
Solfati	Importanti per il contenuto in zolfo, elemento indispensabile per alcune vitamine e proteine	25	250	-	Oltre 250 mg/L i solfati, se in associazione con sodio o magnesio possono provocare irritazioni gastrointestinali
Fluoruri	Fondamentali per la salute dei denti e la prevenzione della carie	0,7	1,5	1	Oltre 1,5 mg/L provocano fluorosi. Sono veleni ematici. L'effetto del fluoro è favorito da ioni K+ ed è ostacolato da ioni Ca++
Manganese	Importante nel metabolismo energetico	0,02	0,05	2-3	Oltre 0,05 mg/L causa sapori sgradevoli, colorazioni, torbidità e depositi nelle tubazioni
Rame	Costituente proteine	0,1	1	2	Oltre 0,1 mg/L provoca sapori astringenti, colorazione, corrosioni nelle tubazioni. A dosi elevate è veleno per il sistema nervoso centrale

Tabella 2
Effetti biologici delle acque potabili

recchiature, affinché l'acqua potabile così trattata non venga addolcita al di sotto dei livelli previsti dalla normativa vigente, contenuta nel DPR 236/88, e non venga sottoposta a rischi di peggioramento della qualità originaria. Le denunce ai produttori riguardano proprio questi aspet-

ti dalla tabella F del DPR 236/88. Eppure, la stessa acqua può essere venduta come terapeutica se minerale naturale senza alcuna limitazione. Poiché il 10% delle acque minerali in commercio hanno questa tipologia, si evince che la legge impedisce al produttore di competere con le

	Residuo (SO ₄)		(Cl)	(Na)	(K)	(Ca)	(Mg)	Durezza		
	fisso mg/L	mg/l						°F	(F)	(NO ₃) mg/L
CMA	1500	250	200	175	-	-	50	-	1,5	50
VG	-	25	25	20	10	100	30	15-50	-	5
Boario	570,0	219,8	6,0	6,8	1,7	125,3	36,2	46,2	0,4	6,6
Fabia	411,0	31,7	26,6	14,5	1,4	124,2	4,8	33,0	0,2	17,0
Ferrarelle	1463,0	4,1	20,6	51,0	49,0	441,8	19,5	118,5	0,3	4,1
Fiuggi	107,7	5,1	12,5	6,5	4,6	16,3	4,9	6,1	0,1	8,2
Levissima	72,5	14,3	0,3	1,6	1,5	18,1	1,8	5,3	0,3	1,4
Panna	178,0	6,2	10,0	13,2	15,1	14,7	5,3	5,9	1,0	18,2
Recoaro	164,0	125,3	0,6	1,1	0,3	35,6	14,4	14,8	0,1	4,2
S. Benedetto	230,0	5,2	2,0	7,6	1,1	42,9	24,6	20,8	0,2	5,2
Sangemini	1010,1	60,4	21,3	21,0	3,8	322,0	19,1	88,4	0,1	1,1
S. Pellegrino	200,8	8,7	1,1	0,5	0,1	42,4	21,6	19,5	0,1	3,2
Uliveto	1092,0	166,2	119,0	103,2	10,6	231,2	41,4	74,8	2,3	7,2
Vera	162,0	15,3	2,1	2,3	0,5	33,7	13,1	13,8	0,2	3,0
Claudia	779	-	54	61	78	109	24,7	-	1,5	3,9
Amorosa	22,8	-	-	5,7	0,15	0,8	0,7	-	0,01	0,78
Linnea	240	12,3	5,9	3,47	0,9	79	6,7	21,1	0,16	5,1
Acetosella	1700	-	-	150	15	330	89	-	-	-
Egeria	638	27,3	33,6	44,5	56,9	93,5	23,6	-	1,5	31,5
Gaudianello	1058	117	36,8	130	47,2	140	51,3	-	-	2,4
Rocchetta	179	7,9	7,7	4,4	0,50	59	3,4	-	0,14	1,1
San Bernardo	38	-	-	0,6	-	-	-	-	-	-
Lilia	345	-	-	-	26,5	35	10,6	-	0,7	5,3
Lauretania	13,9	1,55	0,53	1,08	0,32	1,1	0,3	0,4	-	1,4
Levico	42	-	-	1,3	0,5	6,6	1,8	2,4	-	-
Sant'Anna	39	7,7	-	1,1	-	12	-	3,2	-	-

Tabella 3
Caratteristiche chimico-fisiche di acque minerali (dal DPR 236/88)

ti. Un'acqua minerale naturale minimamente mineralizzata o oligominerale ha un contenuto di sali inferiore a 50 mg/L. Ad esempio l'acqua minerale naturale Amorosa, che si può acquistare in farmacia, ha un contenuto in sali di 22-25 mg/L. Si tratta di un'acqua con proprietà terapeutiche solo per determinate categorie di persone (neonati ecc.). Il decreto così formulato mostra un primo limite evidente, cioè che i dispositivi commerciabili non possono produrre acque minimamente mineralizzate perché ad una analisi chimica risulterebbero "non potabili", in quanto al disotto dei limiti impo-

acque minimamente mineralizzate e oligominerali.

Dispositivi per il trattamento domestico delle acque potabili

Per ovviare alla contaminazione diffusa delle acque di rete, ma anche da pozzo, seguendo la moda americana, da anni sono in commercio impianti di depurazione dell'acqua per uso domestico. Sono mini-apparecchi da cucina (sotto-lavello) che purificano l'acqua di rete con filtri ad assorbimento specifico di cloro e batteri. Spesso incorporano unità filtranti di

osmosi inversa, alimentati dalla stessa pressione di rete o da una pompa specifica.

Anche in Italia è sentita la necessità, da parte di molti consumatori, di potersi garantire un'acqua "sicura" per l'uso potabile diretto, ma più in generale per l'alimentazione.

I dispositivi in commercio possono riunire in un unico sistema più tipologie di filtri: meccanici, a carbone attivo e membrane, cioè filtri molto selettivi che si possono ricondurre a due categorie, membrane da microfiltrazione (MF) e da osmosi inversa (OI).

Le Società più serie forniscono apparecchi di questo tipo, affidabili e controllati a norma del DM 443/90, che producono un'acqua con un ridotto contenuto salino, offrendo alcune garanzie in merito a contaminazioni batteriche e chimiche.

In generale, la maggior parte di questi dispositivi nascono da una progettazione standard, seguita da una realizzazione in stabilimento, con modesti livelli di regolazione per tipologia di utente.

Gli addolcitori sono tarati per trattare un'acqua in ingresso con una composizione media nazionale, ma l'acqua di rete ha invece una composizione chimica molto variabile da una zona all'altra. Queste condizioni di variabilità possono condizionare le prestazioni dell'addolcitore, con risultati spesso deludenti, soprattutto dopo lunghi periodi di funzionamento.

Partendo da un'acqua di rete già a basso contenuto salino, dispositivi molto efficienti possono portare il contenuto a livelli inferiori a quelli consentiti dal DPR 236/88 (60 mg/L) al punto da produrre un'acqua poco mineralizzata, non adatta a tutti i consumatori. La legge ha previsto solo genericamente di non andare sotto tale valore, ma se l'acqua prodotta del dispositivo fosse a 32 mg/L si potrebbe affermare che viene prodotta un'ac-

qua minimamente mineralizzata; tale risultato dovrebbe essere frutto di una scelta consapevole da parte dell'utente e regolamentata da una modifica all'attuale legislazione. Poiché la legge lo consente, i produttori potrebbero inserire dosatori di sali, o potrebbero utilizzare quella che normalmente viene scartata dal dispositivo, ammesso che quella di rete rispetti i parametri della potabilità. Nelle acque di rete, a meno di casi particolari, la contaminazione chimica è imputabile principalmente all'uso del cloro. Esso viene dosato in eccesso per assicurarsi la completa bonifica microbica, quindi per garantire l'igiene del prodotto. Spesso il contenuto di cloro introdotto nell'acqua come disinfettante pone al riparo anche da eventuali, e purtroppo frequenti, contaminazioni della rete a causa di perdita delle tubazioni e conseguente invasione batteriche o chimiche. Il cloro distrugge i batteri, ma purtroppo può generare composti chimici (aloderivati organici) che hanno effetti di tossicità acuta (cancerogeni). Il cloro, d'altro canto, ha poco effetto sulla decontaminazione chimica dell'acqua. Da un punto di vista tecnico il sistema di purificazione dell'acqua di rete dovrebbe essere progettato per la tipologia d'acqua considerata, in modo da rimuovere i veri contaminanti, ma non i sali minerali necessari.

I dissalatori domestici più comunemente venduti sono generalmente di due tipi: quelli che usano la pressione idraulica della rete per ottenere un fluido permeato a basso contenuto salino, e quelli che impiegano una pompa centrifuga per spingere l'acqua attraverso le membrane, ad una pressione compresa fra 4 e 13 bar. I primi sono anche muniti di un serbatoio di accumulo idrico con l'eventuale lampada UV (blanda funzione sterilizzante), mentre i secondi non hanno bisogno di accumulo. L'addolcitore domestico si alimenta con l'acqua di rete

e produce generalmente un 50% di acqua purificata e un 50% di acqua di scarico. Queste percentuali variano da un apparecchio all'altro ma raggiungono solo in condizioni particolari i valori 70-80% di produzione e 30-20% di scarico.

La figura 3 mostra un depuratore d'acqua domestico che impiega filtri a carbone attivo accoppiato con membrane osmotiche.

La produzione idrica di un dissalatore domestico, come quello in figura, alimentato da una pompa ad alta pressione (fino a 20 bar) è di circa 20-50 L/h. La produttività dipende dalla salinità dell'acqua di rete e dalla regolazione idraulica impostata dal fornitore.

Tali dispositivi impiegano generalmente due membrane polimeriche a spirale avvolta di poliammide composita, specializzate nel trattamento dell'acqua di rete, cioè a bassa reiezione salina. Le membrane possono operare fino ad un massimo di 21 bar di pressione, ad una temperatura inferiore a 45 °C, non tollerano la presenza di cloro che deve rigorosamente essere inferiore a 0,1 mg/L.

La membrana ha un effetto di purificazione (reiezione) sui batteri, sali e composti organici, come pesticidi, tensioattivi, composti organici alogenati (alometani, idrocarburi clorurati ecc.). Questa reiezione varia fra il 50 e l'88 %. Nella figura 4 si riporta uno schema idraulico di un simile apparecchio.

L'acqua di rete passa attraverso un prefiltro e si ripartisce in due correnti: la principale di circa l'80% passa attraverso i filtri per giungere poi alle membrane, mentre il restante 20% circa (linea by-pass), attraversa un filtro di sali d'argento, che ha la funzione di sterilizzare, quindi si unisce alla corrente permeata, che esce dalle due membrane.

Le membrane sono precedute da un filtro a carbone attivo, che ha lo scopo di eliminare il cloro presente nell'acqua di



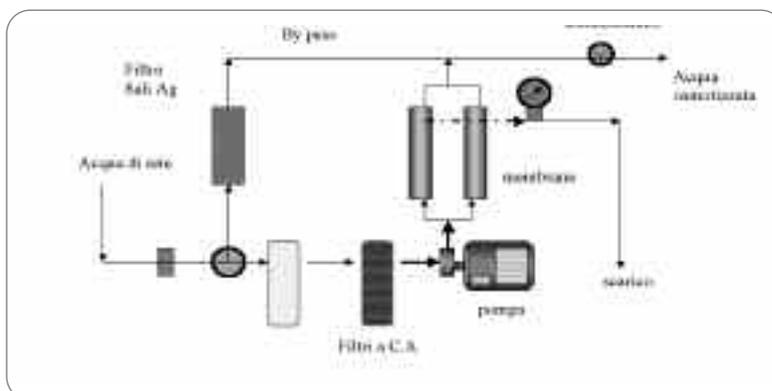
Figura 3
Dispositivo per il trattamento delle acque domestiche, con membrane osmotiche e filtri a carbone attivo

rete, ed anche altre sostanze di natura organica.

Mentre un'acqua media di rete ha una conducibilità elettrica di circa 300-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quella che esce dalle membrane, cioè osmotizzata, ha una conducibilità di circa 15-40 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quando il by-pass è chiuso, a cui corrisponde un livello salino inferiore ai famosi 60 mg/L. Per tale ragione, poiché in queste condizioni l'acqua prodotta risulterebbe non potabile, i produttori dotano i sistemi di una regolazione del flusso di by pass (obbligatoria per legge), che consente loro di miscelare l'acqua osmotizzata con quella di rete, fino a riportare la voluta salinità.

Nella colonna 3 della tabella 5 si riporta la concentrazione salina dell'acqua ottenuta da un apparecchio commerciale, con il by-pass chiuso, ed il valore di reiezione ai sali della membrana, colonna 4.

Figura 4
Schema idraulico di un depuratore d'acqua per uso domestico



Dall'opportuno mescolamento della corrente di permeato con quella del by-pass, si ottiene un valore di conducibilità di circa 150 mS/cm, equivalente a circa 110 mg/L di sali disciolti, rispettando le specifiche di un'acqua potabile.

Un appunto al sistema idraulico descritto riguarda proprio il by-pass. Se l'acqua di rete è contaminata da nitrati o metalli pesanti, tutta la linea by-pass (il 20% circa del prodotto finale depurato) non viene purificato chimicamente, quindi la depurazione sarebbe parziale.

Le garanzie di sicurezza offerte dal dispositivo, a fronte dell'impiego di componenti di qualità (filtri, membrane), dipendono dall'assistenza tecnica che deve essere assicurata nel tempo.

Depuratori per acque non potabili

Un campo completamente diverso da quello trattato interessa la potabilizzazione dell'acqua in generale, compresa quella da pozzo, non potabile sotto il profilo normativo.

In questo caso l'eventuale contaminazione dell'acqua primaria potrebbe riguardare alcune specie chimiche (nitrati, ammoniaca, metalli pesanti, pesticidi, organoclorurati ecc.).

Per potabilizzare un'acqua di pozzo contaminata sarebbe necessario disporre di un depuratore-potabilizzatore con carat-

teristiche tecniche diverse da quelli considerati nel precedente paragrafo.

Trascurando gli aspetti normativi, si dovrebbe predisporre e progettare la macchina partendo dalla composizione chimica dell'acqua primaria, in modo da configurare un dispositivo ad *hoc*, in grado di rimuovere i contaminanti e non i nutrienti. Per comprendere meglio il concetto facciamo un esempio (quasi teorico): se l'acqua di pozzo è contaminata da batteri, ma non da sostanze chimiche come metalli pesanti, la depurazione può essere ottenuta semplicemente con un filtro (membrana) da microfiltrazione.

Se viceversa l'acqua è contaminata da sali minerali tossici è necessario impiegare la tecnica dell'osmosi inversa, ma occorre anche reintrodurre nell'acqua osmotizzata il giusto contenuto salino.

Questa funzione può essere ottenuta impiegando sali minerali, come i carbonati di calcio che si sciolgono debolmente in acqua; oppure miscele di sali puri, come i cloruri di magnesio, sodio, potassio ecc.

Il dosaggio di questi sali purissimi deve rimanere al disotto delle concentrazioni massime previste dalla normativa delle acque potabili.

L'ENEA ha maturato una lunga esperienza nel settore dei processi di dissalazione dell'acqua di mare^{6,7} e nella depurazione industriale delle acque reflue^{8,9,10,11}, impiegando tecnologie di membrana.

Tabella 5
Composizione salina dell'acqua di rete, del concentrato e del permeato di OI

Specie chimiche	Concentrazioni alimento (mg/L)	Concentrazioni prodotto (mg/L)	Reiezione apparente (%)
pH	7,1	6,7	-
Conducibilità 24,7 °C (mS/cm)	594,2	73,0	-
Calcio	102,1	9,9	90,3
Sodio	3,1	0,8	74,0
Potassio	0,7	0,2	76,8
Magnesio	15,0	1,6	89,0
Cloruri	4,1	0,3	93,5
Fluoruri	0,1	tracce	94,0
Nitrati	2,0	0,2	89,5
Solfati	13,3	1,1	94,0
Carbonati	180,3	18,1	90,0
Totale	320,7	32,3	

Questa esperienza viene ora impiegata per migliorare le prestazioni e la qualità dell'acqua potabile ottenuta con i moderni depuratori o addolcitori d'acqua.

In particolare l'ENEA è impegnato ad ottimizzare il funzionamento degli addolcitori o depuratori d'acqua basati sull'impiego di tecnologie di membrana, applicati sia nel settore domestico, che in quello industriale, intervenendo su quattro direttrici.

1. Si dovrebbero impiegare gli addolcitori solo dopo aver eseguito un'analisi chimica dell'acqua primaria. Se l'acqua di rete rispecchia i parametri di potabilizzazione il depuratore non serve.

In caso contrario è necessario rimuovere i veri contaminanti dalle acque, ma lasciare i sali minerali nelle concentrazioni accettate dalla normativa per le acque potabili;

2. Impiegare soltanto le tecnologie di filtrazione necessarie ed efficaci per la rimozione dello specifico/i contaminanti dell'acqua primaria, che variano notevolmente su scala geografica e spesso all'interno dello stesso condominio.

3. Consentire ai potabilizzatori di operare per tempi lunghi pur mantenendo invariate la produttività e la composizione chimica del prodotto raffinato.

4. Fornire al consumatore il massimo grado di sicurezza igienica e di controllo sulla composizione chimica dell'acqua prodotta. Questo si realizza dotando l'apparecchio di sensori chimici, fisici e batteriologici.

Conclusioni

In Europa la qualità delle acque primarie (falda, fiume, sorgente, lago) è sempre più compromessa dall'attività industriale e civile. Ciò pone il problema di migliorare la qualità anche dell'acqua di rete, servendosi di piccoli depuratori domestici, che tecnicamente potrebbero sostituire il consumo d'acqua minera-

le. Nel mercato europeo sono in commercio diversi dispositivi per il trattamento dell'acqua potabile ad uso domestico, alcuni usano soltanto carboni attivi, altri aggiungono anidride carbonica, altri impiegano tecniche di osmosi inversa con l'ausilio o meno di una pompa centrifuga.

Nel *boom* mondiale di questi dispositivi domestici si sono gettati anche imprenditori meno responsabili, che commercializzano sistemi di filtrazione alla buona, che hanno creato un certo discredito sulla categoria.

Generalmente i componenti di queste macchine (filtri, membrane, lampade, tubazioni, valvole ecc.) sono adatti alla produzione, in accordo con il DM 433/99. Una corretta e periodica manutenzione è fondamentale per il buon funzionamento dell'apparecchio.

Le membrane da osmosi possono operare per oltre 4 anni, se sono gestite in modo corretto e non rilasciano nessun composto chimico nell'acqua, quindi sono assolutamente sicure.

Poiché il trattamento ad osmosi inversa non introduce elementi e/o composti estranei, non si potrà mai avere il caso in cui la concentrazione degli inquinanti, sia superiore a quella della rete idrica. Questo potrebbe succedere se si utilizza l'acqua di scarico e si getta quella depurata, ma è un caso limite.

I minidepuratori potrebbero produrre facilmente un'acqua minimamente mineralizzata adatta al consumo umano, ma la normativa vigente lo vieta, danneggiando in tal modo i produttori, che non possono competere con il mercato delle acque minerali a basso contenuto salino. La nuova normativa dovrebbe contemplare un'ampia possibilità di regolazione dell'apparecchio, che potrebbe consentire di avere un'acqua adatta alle specifiche esigenze fisiologiche del consumatore.

Negli attuali dispositivi in commercio lo spreco d'acqua è spesso del 50%, cioè

troppo alto, solo in casi particolari si attesta sul 20-30%. Inoltre, l'acqua di scarico del minidepuratore potrebbe essere riutilizzata in ambito domestico per altre operazioni, come l'uso nei servizi igienici come il WC.

Oggi è tecnicamente possibile produrre un'acqua potabile con le caratteristiche volute dal consumatore partendo anche da un refluo industriale, ma bisogna comunque garantire l'utente, cosa che non viene assicurata, sia per le acque minerali che per quelle di rete. Lo sviluppo di potabilizzatori più efficaci ed affidabili, su cui è impegnato l'ENEA, richiede non soltanto la messa a punto tecnica e strumentale, ma anche la definizione di un quadro normativo chiaro. È noto che la normativa segue l'innovazione tecnologica, non viceversa.

Bibliografia

1. RAVELLI, F., *Le mani delle corporation sull'acqua del pianeta*, La Repubblica, 5-02-2002
 2. BOZZINI, A. M. PIZZICHINI, *La risorsa idrica come fattore di sviluppo*, L'Informatore Agrario 6, 28-30, (2001).
 3. BREMERE, I.; M. KENNEDY, A. STIKKER, J. SCHIPPERS, *How water scarcity will effect the growth in the desalination market in the coming 25 years*, Desalination 138 7-15, (2001).
 4. www.unimondo.oneworld.net
 5. www.mineracqua.it
 6. PIZZICHINI, M., RUSSO, C., *Confronto fra le tecnologie di dissalazione dell'acqua di mare*, Acqua & Aria, 4, pp 77-83 (2002).
 7. PIZZICHINI, M.; G. BRACCIO, A. BOZZINI, *Le Tecnologie di membrana per la dissalazione dell'acqua di mare e la gestione della risorsa idrica*, ENEA, Energia Ambiente Innovazione 2, (2001).
 8. FABIANI, C.; F. RUSCIO, M. SPADONI, M. PIZZICHINI, *Chromium (III) salts recovery process from tannery wastewaters*, Desalination 108, 183-191, (1986)
 9. PIZZICHINI, M.; C., FABIANI, R., MONTANI, M. SPADONI, *Tecnologie per ridurre l'impatto ambientale dell'industria conciaria*, ENEA, Energia Ambiente Innovazione 5/97, 47, (1997).
 10. PIZZICHINI, M.; M. SPADONI, A. SENATORE, *Le tecnologie di membrana nel trattamento finale delle acque di depurazione*, ENEA, Energia Ambiente Innovazione, 2/98, 48-62, (1998).
 11. PIZZICHINI, M., RUSSO, C., DI MEO, C., *Procedimento di purificazione dei reflui di cartiera per il riutilizzo in produzione dell'acqua raffinata*, Brevetto ENEA Cartiera Lucchese, N° di registrazione RM 2003A000603 depositato in data 29/02/2003.
- Lo studio è stato eseguito nell'ambito di un contratto di ricerca fra l'ENEA e la Società LUX Seven Stars, prot. ENEA/2004/4274/BIOTEC-STG.



Cronaca di un **inizio** con istantanea sul **futuro**

a cura di **FAUSTO BORRELLI**

scienza, tecnica,
storia & società

La lettura di una straordinaria cronaca dell'inizio dell'era atomica, ci permette di commemorare il sessantesimo anniversario di quel collaudo segreto effettuato il 16 luglio del 1945 in un vecchio "ranch" nel deserto del New Messico seguito, venti giorni dopo, dall'olocausto di Hiroshima e Nagasaki. Dopo un intermezzo con Butterfly e Munch, segue un istantanea sul futuro in cui Craig Venter – primo sequenziatore del genoma umano – preannuncia un prossimo ingresso nell'era dei mattoni genetici, ipotizzando che la vita può essere giunta sulla Terra nella scia di una cometa e che il design dei computer sarà biologico

Chronicle of a **beginning** with snapshot of the **future**

The reading of an extraordinary chronicle of the beginning of the atomic age enables us to commemorate the sixtieth anniversary of the secret test made on July 16, 1945 on an old ranch in the New Mexico desert, followed twenty days later by the bombing of Hiroshima. After an intermezzo with Butterfly and Munch, we're treated to a snapshot of the future, where Craig Venter, first sequencer of the human genome, announces our upcoming entry into the era of genetic building blocks. Venter suggests that life may have arisen on Earth in the wake of a comet, and that computer design will turn biological

- Dall'età della pietra all'era dei mattoni genetici

Le vicende storiche, a partire dal più remoto passato, sono state scandite convenzionalmente in periodi chiamati per lo più età o ere, come ad esempio: età della pietra scheggiata, età del fuoco, età del rame, età del bronzo, età del ferro, età del papiro, età della pergamena, età dei mulini ad acqua, età della stampa a caratteri mobili, età delle grandi scoperte geografiche, età della polvere da sparo, età dei meccanismi, età del vapore, età delle macchine, età del gas, età dell'elettricità e dell'illuminazione elettrica, età del telegrafo e del telefono, età della chimica, età del petrolio e delle petroliere, età del cinematografo, età delle radiotrasmissioni, età dell'automobile, età della televisione, era atomica, età dell'atomo per la pace, era spaziale, età del computer e del digitale, età del cellulare, età delle nanotecnologie, era della genetica e, in arrivo, "era in cui i geni diventeranno i mattoni per progettare il futuro".

In questa breve nota ci soffermeremo soltanto sull'inizio dell'era atomica avvenuta il 16 luglio 1945¹ e sul prossimo ingresso nell'"era dei mattoni genetici del futuro" annunciato il 12 aprile 2005 dall'americano Craig Venter, primo sequenziatore del genoma umano.

- Una domanda insensata?

Leggendo il precedente elenco, si sarà notato che, oltre ad essere incompleto, è cronologicamente confuso. "Età" ed "ere" sono sempre connotate da una precisa specificazione che indica, direttamente o indirettamente, il loro legame con una tecnica o con un gruppo di tecniche del momento.

Ciò permesso, ci chiediamo: sarebbe insensato domandarsi se di qualcuna di queste "ere" o "età" esiste una "cronaca in diretta" che ne racconti l'inizio?

La domanda a prima vista, appare assurda ma poi – come vedremo – non lo è affatto.

- Ce n'è almeno una...

Infatti fra quelle "età" ed "ere", ce ne è almeno una – l'era atomica – di cui abbiamo effettivamente una straordinaria "cronaca in diretta dell'inizio" sotto forma di un "Rapporto di Stato".

Il "Rapporto" è scritto in uno stile apparentemente burocratico e un po' enfatico, sotto il quale però si avverte la forte tensione emotiva di quegli uomini di scienza che stavano provocando la natura, forzandola all'estremo per farle rilasciare una potenza immensa – imprigionata e sconosciuta – che da quel momento irromperà nella storia umana, sconvolgendola.

- Una commemorazione irriuale, ma assai istruttiva

Nel riportare qui di seguito le poche pagine di quella "cronaca in diretta" pensiamo anche di commemorare – in modo forse irriuale, ma assai istruttivo – il sessantesimo anniversario del "collaudo" che fu eseguito alle ore cinque e trenta del mattino del 16 luglio del 1945 in un vecchio "ranch" del New Mexico negli Stati Uniti d'America.

In Europa, la seconda guerra mondiale era già finita da oltre due mesi con la resa della Germania nazionalsocialista (8 maggio 1945) alla quale la bomba atomica era originariamente destinata.

Il testo del "Rapporto" è stato trovato negli archivi del Ministero della Guerra

¹ Il processo generativo originario da "atomo di guerra" ad "atomo per la pace" si è capovolto; ne è l'esempio, oggi, il sempre più difficile tentativo di controllare le "potenzialità proliferative" dell'"atomo per la pace" in tutte le parti del mondo. Su questo, si veda: "Piccole bombe crescono" di Siegmund Ginzberg, "L'Unità", 5 maggio 2005; e "Armi nucleari: il problema più grande del mondo" di Robert Reich della Brandeis University, "L'Unità", 29 maggio 2005.

degli Stati Uniti verso la fine degli anni quaranta (F. Klemm, "Storia della tecnica" Feltrinelli 1954). I tioletti con i quali è suddiviso il "Rapporto" sono redazionali.

- "Rapporto del Ministero della Guerra degli Stati Uniti sul colauodo nel New Mexico il 16 luglio 1945"

[Liberare l'energia dell'universo rinchiusa nell'atomo dall'inizio dei tempi]

Il trionfale ingresso dell'umanità in una nuova era, l'era atomica, avvenne il 16 luglio 1945 davanti agli occhi di un ristretto gruppo di famosi scienziati e di militari, riuniti nel deserto del New Mexico per assistere ai primi risultati finali della loro attività, costata due miliardi di dollari. Qui, in una sezione separata della base aerea di Alamogordo, 120 miglia a sud-est di Albuquerque, fu provocata dalla mano dell'uomo, alle 5.30 di mattina, la prima esplosione atomica, eccelsa realizzazione della fisica nucleare. Un cielo oscurato, una forte pioggia accompagnata da lampi, fino all'ora "zero", accrebbero l'aspetto drammatico dell'avvenimento.

Fissata alla sommità di una torre d'acciaio stava un'arma rivoluzionaria, destinata a modificare la guerra quale noi la conosciamo, oppure a porre termine a tutte le guerre, caricata con una potenza tale da annunciare l'ingresso dell'umanità in un nuovo mondo fisico. Il successo fu maggiore di quanto le più ottimistiche considerazioni avessero fatto presagire. Un pugno di materia, prodotto ultimo di una catena di colossali industrie realizzate appositamente per questo scopo, doveva servire a liberare l'energia dell'universo, rinchiusa nell'atomo dall'inizio dei tempi. Un'impresa favolosa era stata compiuta. Le speculazioni teoriche, appena iniziate nei laboratori dell'anteguerra, venivano proiettate nella realtà pratica.

[Sotto la direzione di Oppenheimer]

Questa fase dell'operazione relativa alla bomba atomica, alla quale presiedeva il maggior generale Leslie R. Groves, fu diretta dal dottor J.R. Oppenheimer, il fisico teorico dell'Università di California. A lui si deve la realizzazione finale delle apparecchiature per l'impiego dell'energia atomica per scopi militari.

La tensione, prima dell'accensione vera e propria dell'esplosione, era salita ad un livello terribile. La possibilità di esplosioni accidentali sussisteva sempre. Anche un successo eccessivo, come presagivano alcuni dei presenti, poteva significare un'arma incontrollabile, e quindi impossibile da adoperare.

La fase finale del montaggio della bomba atomica cominciò il 12 luglio, di notte, in un vecchio ranch. Mentre le diverse parti dei pezzi da smontare arrivavano da punti lontani, l'eccitazione degli scienziati andava crescendo sempre di più. Il più freddo di tutti era l'uomo che aveva l'incarico di montare il cuore della bomba, il dottor R. F. Bacher, in tempi normali professore alla Cornell University.

L'intero costo dell'operazione, che comprendeva la costruzione di intere città e di impianti completamente nuovi che si estendevano per miglia e miglia di terreno, oltre all'esecuzione di esperimenti senza precedenti, era riassunto nella bomba sperimentale e nelle sue parti. Questo era il punto cruciale del rischio. Nessun altro paese della terra era stato in grado di sostenere un tale dispendio di lavoro intellettuale e di sforzi tecnici.

[12-13 luglio: montaggio della bomba sulla torre]

Il pieno significato del momento conclusivo di questo esperimento era ben chiaro davanti agli occhi di quegli uomini di scienza. Essi comprendevano pure che bastava un solo passo falso per annulla-

re per sempre tutto il loro lavoro. Prima che il montaggio incominciasse, il brigadiere generale Thomas F. Farrell, rappresentante del generale Groves, firmò una ricevuta di tutti i diversi oggetti. Questo significava formalmente la consegna del materiale insostituibile all'esercito da parte degli scienziati.

Durante la preparazione del montaggio finale si ebbero alcuni brutti momenti, in quanto il montaggio di una parte importante della bomba veniva ritardato. Tutte le parti erano lavorate a macchina con la massima precisione. L'introduzione del pezzo era in parte avvenuta, quando esso sembrò incastrarsi e non voleva andar oltre. Il dottor Bacher, sempre calmo, assicurò il gruppo che il problema sarebbe stato risolto. Dopo tre minuti si avverò l'affermazione del dottor Bacher, ed il montaggio fu compiuto senza altri incidenti. Squadre speciali, formate dagli uomini di punta dei rispettivi settori scientifici che avevano a che fare con l'operazione, si assunsero la loro parte di lavoro nel montaggio. In ciascun gruppo di lavoro erano concentrati mesi, perfino anni di sforzi diretti ad un solo obiettivo.

[15 luglio: l'imprevista inclemenza del tempo]

Sabato 14 luglio tutto il complesso approntato, dal quale dipendeva il successo o il fallimento dell'intera operazione, fu sollevato sulla cima della torre metallica. L'intero giorno ed il giorno seguente proseguirono i lavori preparatori. Oltre agli apparecchi destinati a provocare la detonazione, fu posto sulla torre tutto il complesso di strumenti per determinare lo scoppio e tutte le reazioni della bomba. L'inclemenza del tempo, che aveva perseguitato il montaggio della bomba, ebbe un effetto deprimente su tutto il gruppo di esperti la cui opera si era svolta in mezzo al balenare dei lampi ed al rumboreggiare dei tuoni. Un tempo così perturba-

to fece escludere la possibilità di seguire la prova dall'aria. Esso fece perfino spostare lo scoppio della bomba, che era stato fissato per le 4 del mattino, di un'ora e mezzo.

Da più mesi la data e l'ora dell'esplosione erano state approssimativamente stabilite; esse avevano costituito il più importante fra i segreti maggiormente custoditi dell'intera guerra.

Il punto di osservazione più vicino si trovava a 10.000 yarde (9,14 km) a sud della torre, dove in un rifugio di legno e terra erano sistemati i comandi dell'esperimento. In un punto che consentiva la miglior osservazione, e che era posto a 17.000 yarde (15,5 km) dalla torre, si raccolsero i principali responsabili dell'operazione. Fra questi erano il generale Groves, il dottor Vannevar Bush, direttore dell'Ufficio per le ricerche scientifiche ed il progresso, ed il dottor James R. Conant, presidente della università di Harvard.

[16 luglio ore 3.30: si prosegue!]

L'innescò della detonazione era affidato al dottor K. T. Bainbridge del Massachusetts Institute of Technology. Egli ed il luogotenente Bush della Military Police furono le ultime persone che ispezionarono la torre con il suo ordigno.

Alle tre di mattina il gruppo si avviò verso la stazione di comando. Il generale Groves ed il dottor Oppenheimer si consultarono con i meteorologi. Fu presa la decisione di proseguire con l'esperimento malgrado l'avversità del tempo. L'ora "zero" fu stabilita alle 5.30 del mattino.

Il generale Groves s'incontrò nuovamente con il dottor Conant ed il dottor Bush, e poco prima dell'esplosione essi ebbero una riunione con i numerosi scienziati raccolti nel campo base. Qui venne ordinato a tutti i presenti di stendersi a terra, con la faccia verso il terreno, e la testa

nella direzione opposta a quella dell'esplosione.

[16 luglio: conto alla rovescia degli ultimi venti minuti]

La tensione nella sala dei comandi raggiungeva livelli spasmodici a mano a mano che s'avvicinava l'ora zero. I diversi punti di osservazione sul terreno erano collegati via radio con la sala dei comandi, e 20 minuti prima dell'esplosione il dottor S. K. Allison dell'Università di Chicago si pose alla radio e diede periodici segnali di tempo.

I segnali "ancora 20 minuti", "ancora 15 minuti" ecc., aumentarono la tensione fino allo spasimo, di modo che il gruppo nella sala comandi, comprendente il dr. Oppenheimer e il generale Farrell, tratteneva il respiro, teso a quell'istante, che rimarrà vivo per sempre nel ricordo di tutti i presenti. Al segnale "ancora 45 secondi" fu messo in moto il meccanismo a funzionamento automatico, e da quel momento prese ad operare l'enorme quantità di complicati e raffinati meccanismi non guidati dall'uomo. Ad un pulsante di riserva era sempre posto uno scienziato appartenente all'esercito, pronto a cercare di fermare l'esplosione, se ne avesse ricevuto l'ordine. Ma questo ordine non venne dato.

[16 luglio ore 5.30: un lampo accecante]

All'istante prestabilito apparve un lampo accecante che illuminò tutta la regione più della più chiara luce del giorno. Una catena di montagne, lontana più di tre miglia dal punto di osservazione, apparve in pieno rilievo. Giunsero quindi un prolungato fragore e un tremito del suolo ed una potente ondata di pressione, che gettò a

terra due uomini che si trovavano fuori della sala comandi. Immediatamente dopo cominciò a ribollire una nube colossale e multicolore, che oscillava sollevandosi fino ad un'altezza di oltre 40.000 piedi (12.184 m).

Sul suolo percorso le nubi sparivano. Presto i mutevoli venti substratosferici dispersero la massa ormai divenuta grigiastra.

L'esperimento era terminato, l'impresa era stata coronata dal successo.

[Enrico Fermi, sul carro armato, esplora il cratere]

La torre metallica era completamente volatilizzata. Al suo posto vi era un immenso cratere. Impolverati, ma illuminati dal successo del loro esperimento, gli scienziati raccolsero le loro forze, per giudicare della potenza della nuova arma dell'America.

Per esaminare il cratere, furono fatti avanzare sul terreno carri armati dotati di apparecchiature speciali; su uno di essi si trovava il dottor Enrico Fermi, il famoso fisico nucleare.

- Une révolution scientifique, deux lampi accecanti e medaglie al valore

Sulla prima pagina del quotidiano francese "Le Monde" dell'8 agosto 1945 (in realtà del 7 agosto pomeriggio), il lancio della prima bomba atomica americana su Hiroshima del 6 agosto 1945 – il secondo lampo accecante – viene salutato come "une révolution scientifique"².

Tre giorni dopo, il 9 agosto 1945, una seconda bomba atomica – il terzo lampo accecante – cadde "fatalmente" su Nagasaki³.

² Da: "Le Monde 60 ans", ed. "Le Monde", 2004.

³ Perché "fatalmente"? Perché Nagasaki fu scelta come obiettivo all'ultimo momento dall'equipaggio del B29, "Great Artist", per ragioni contingenti dovute alla nebbia e alla scarsità di carburante. Il vero obiettivo della seconda atomica era infatti un'altra città giapponese.

Il bilancio del secondo e terzo lampo accecante fu questo: 115.986 “cremati” vivi all’istante e 80.445 ustionati e irradiati le cui indicibili sofferenze, terminate soltanto con la morte, hanno fatto rimpiangere a questi infelici la fortunata morte istantanea delle vittime del primo giorno. Gli equipaggi dei due bombardieri B29 (“Enola Gay” e “Great Artist”) che eseguirono “coraggiosamente” i bombardamenti di Hiroshima e Nagasaki furono solennemente insigniti con le più alte medaglie al valore militare degli Stati Uniti d’America nel settembre del 1945. Nel frattempo, mentre a Washington si esaltava la “gloriosa avventura” della bomba atomica, a Tokio il comandante supremo del Pacifico Sud Occidentale, generale Douglas MacArthur (1880-1964), ordinava personalmente di sequestrare e far sparire i quattro articoli scritti da George Weller – cronista del *Chicago Daily News* – che aveva visitato, a Nagasaki, i superstiti irradiati colpiti dalla “malattia x”.

MacArthur riteneva che i quattro articoli di Weller avrebbero potuto influenzare negativamente l’opinione pubblica americana sul futuro dell’atomica.

Questi articoli sono riapparsi a Roma, in

modo rocambolesco, nel giugno del 2005⁴.

- Intermezzo: la piccola Butterfly, Nagasaki, un coro a bocca chiusa e il grido

Fin dagli inizi del ventesimo secolo, Nagasaki era diventata famosa per essere la città dove si svolgeva la tragica vicenda della piccola Butterfly, messa in musica da Puccini nel 1904.

A Nagasaki, Butterfly – una geisha di quindici anni – viene corteggiata, sposata e abbandonata in miseria con un bambino da “Benjamin Franklin Pinkerton luogotenente sulla cannoniera Lincoln della marina degli Stati Uniti d’America del Nord”.

Quando la vicenda assume, verso la fine, il suo andamento tragico e ineluttabile, si ode un coro a bocca chiusa composto da Puccini quarant’anni prima del bombardamento di Nagasaki – coro di tragedia greca.

Ma dalla data di quel bombardamento – 9 agosto 1945 – quel coro, oltre che canto del dolore per la sorte imminente di Butterfly, è diventato anche – nell’immaginario musicale – canto della infinità



⁴ Un giudizio etico-politico sul lancio delle due atomiche è stato espresso, nel 1995, dal maggior filosofo americano contemporaneo, John Rawls (1921 - 2002), professore di Filosofia morale all’Università di Harvard e autore di “Una teoria della giustizia” (1971). Si veda “John Rawls, Hiroshima e principi della democrazia”, in “Pensare la tecnica” di F. Borrelli, ENEA 1996, pp. 219-230. Sulla malattia x che colpì gli irradiati non feriti di Nagasaki dopo un mese dall’esplosione della bomba atomica e sulla censura di MacArthur, si veda l’ampio servizio pubblicato dal “Corriere della Sera” del 20 giugno 2005.

pietà per le povere vittime dell'olocausto atomico di Hiroshima e Nagasaki⁵.

L'ascolto dei tre minuti del coro a bocca chiusa potrebbe essere quindi un modo appropriato per commemorare il sessantesimo anniversario dell'inizio dell'era atomica avvenuto con il "collaudo" dell'ordigno nel deserto del New Mexico il 16 luglio del 1945 seguito dopo venti giorni, dall'olocausto di due città giapponesi.

La "Madama Butterfly" – è opportuno ricordarlo – è una delle opere più amate e rappresentate negli Stati Uniti e in Giappone.

In alternativa alla musica di Puccini, si potrebbe commemorare l'inizio dell'era atomica meditando su "il Grido" di Edward Munch, dipinto nel 1893.

"Camminavo lungo la strada con due amici (a Nizza nel 1892) quando il sole tramontò e il cielo si tinse improvvisamente di rosso sangue, c'erano sangue e lingue di fuoco... sentivo che un grande urlo infinito pervadeva la natura" – così scriveva Munch un anno prima di dipingere il Grido, quadro in cui concentrò le sue premonitrici angosce esistenziali – quadro in cui si specchiarono poi le generazioni della prima e della seconda guerra mondiale e, oggi, la generazione che sta attraversando l'enigmatica e tenebrosa crisi planetaria.

Per dare "forma figurativa" alle sue profetiche angosce, Munch si ispirò all'espressione di una mummia peruviana esposta al Musée de l'Homme di Parigi (figure A e B), come ha scoperto lo studioso americano Robert Rosenblum.

"Su tutta la mia natura grava un'angoscia, una paura che è presagio di terremoto" – ripeteva, con Kierkegaard (1813-1855), Edward Munch che dipinse durante la sua lunga vita (1863-1944) oltre cinquanta versioni del Grido⁶.



Figura A.
Il Grido di Edward Munch (1895), litografia.
Oslo, Munch Museet

Si potrebbe chiudere questo "Intermezzo", suggerendo di scorrere anche il recente saggio di James Hillman: "Un terribile amore per la guerra", pubblicato dalla Adelphi nel 2005.

- Un'istantanea sul futuro: il biovisionario Craig Venter parla alla giornata dei biovisionari di Lione (aprile 2005)

Nella dichiarazione che segue, il biovisionario Craig Venter preannuncia l'ingresso venturo in una "nuova era", quella dei geni che diventeranno i mattoni con cui progettare il futuro.

Quando questa nuova imminente "era" sarà realizzata renderà più credibile – sottolinea Venter – l'idea di panspermia, cioè di una vita arrivata sulla Terra nella scia di una cometa.

Con due espliciti richiami allo sforzo d'immaginazione, Craig Venter parla di una prossima convergenza di biologia e informatica, ipotizzando che, in un lonta-

⁵ L'accostamento della "Madama Butterfly" alla bomba atomica che distrusse Nagasaki fu molto lacerante fra gli appassionati di lirica e di Puccini e immediata fu la solidarietà verso le vittime delle due città. Chi scrive ne fu diretto testimone.

⁶ "Munch" di Ulrich Bischoff, Taschen 2001, pp. 53-54.

Figura B.
Mummia peruviana.
Parigi, Musée de
l'Homme



no futuro, il design di un computer – ad esempio – sarà biologico, in quanto basato sui nano-percorsi del genoma di una diatomea.

Ecco il testo della dichiarazione di Craig Venter del 16 aprile 2005:

“Con 40 o 50 mila famiglie di geni e milioni di geni a disposizione, stiamo entrando nell’era in cui i geni diventano i mattoni con i quali progettare il futuro. La situazione somiglia a quella degli anni 50 quando l’industria elettronica ha preso componenti di serie e li ha assemblati in modo nuovo. Per fare un esempio, all’Istituto stiamo assemblando un cromosoma artificiale, per vedere se riuscirà a diventare il sistema operativo di una cellula viva.

Lavoriamo anche a modifiche ispirate al *Deinococcus radiodurans*, l’archeobatterio che sopravvive a radiazioni di 3 milioni di rad, nel giro di 12-20 ore ripara i propri cromosomi e torna a replicarsi come se niente fosse. Starebbe a suo agio nello spazio esterno e perciò rende più credibile l’idea di panspermia, della vita arrivata sulla Terra nella scia di una cometa.

Nella realtà, i microrganismi sono già fabbriche di ingredienti attivi per l’industria farmaceutica. Quelli marini hanno una chimica di gran lunga più complessa di quella mai raggiunta finora dai chimici. I nostri ne hanno tratto gli ingredienti di base del tassolo, usato per la terapia del cancro al seno e alle ovaie, ma proveniente da vegetali sempre più scarsi.

Nell’ambiente, ci sono organismi che catturano l’anidride carbonica e la trasformano in zuccheri e proteine; già producono polimeri. Noi cerchiamo di potenziare la fotosintesi di quelli marini per far sì che con la luce del Sole estraggano idrogeno dall’acqua.

Con un piccolo sforzo d’immaginazione, vediamo l’industria petrolchimica sostituita da specie nate per ingegneria genetica. Questa si diffonderà presto nei Paesi in via di sviluppo, diversamente da altre tecnologie. Non servono impianti da 40 milioni di dollari, ma soltanto conoscenze fondamentali di biologia molecolare per far produrre ai microrganismi farmaci, cibo e, con un po’ di fortuna, energia pulita e sistemi per bonificare i suoli che abbiamo inquinato.

Ancora uno sforzo d’immaginazione e vediamo convergere biologia e informatica.

Nel genoma di una diatomea troviamo macchinari in grado di incidere nel silicio nano-percorsi ben più delicati e precisi di quelli dei chip che si stanno progettando ora. Domani, anche il design dei computer sarà biologico⁷”.

⁷ Il testo di Craig Venter si trova in: “I viaggi di un biovisionario” di Silvie Coyaud, “Il Sole 24 ore”, 17 aprile 2005.



Nuovi sviluppi nella cella fotovoltaica ENEA a concentrazione

ANGELO SARNO

ENEA

UTS Fonti Rinnovabili e Cicli Energetici Innovativi

Nell'ambito del Progetto PhoCUS (Photovoltaic Concentrators to Utility Scale), in corso di svolgimento presso i laboratori dell' ENEA, è stata messa a punto, nell'ottobre scorso (ved. *Energia, Ambiente e Innovazione*, n.4/04, pag. 90), la prima cella di silicio cristallino per il fotovoltaico a concentrazione.

A distanza di pochi mesi, è stato raggiunto un nuovo record: sono stati realizzati

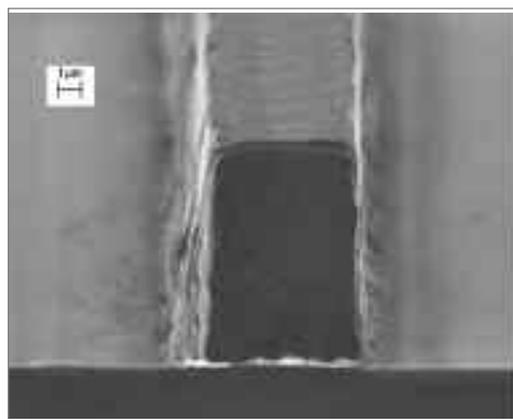
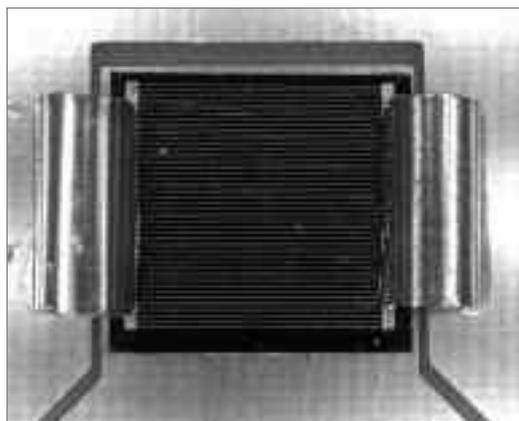
dispositivi di area pari a 1,21 cm² in grado di operare a livelli di insolazione medio-alti. Il dispositivo, mostrato in figura, basato sulla tecnologia del silicio cristallino, mostra notevoli miglioramenti rispetto alle prime celle sia in termini di operatività che di efficienza.

Infatti, la nuova cella pur presentando valori di efficienza comparabili con la precedente versione (20% a 40 soli)

mostra un buon comportamento a valori di concentrazione oltre i 100 soli: 19% a 100 soli e 18% a 150 soli.

Questo risultato è stato ottenuto ottimizzando ulteriormente i vari *step* di processo ed integrandoli completamente in una *clean room*. I cambiamenti più importanti riguardano la riprogettazione della griglia frontale per ottimizzare la raccolta di luce e minimizzare le perdite ottiche ed elettriche in concentrazione. Per realizzare questa nuova griglia, è stato messo a punto un processo fotolitografico ottenendo un contatto frontale di Ti-Pd-Ag con dimensioni di circa 10 mm in altezza e 8 mm di larghezza. Il processo prevede un solo passo di "lift off" per contenere i costi del dispositivo compatibilmente con la necessità di estrarre con una griglia di area ridotta tutta la corrente generata in concentrazione, dell'ordine di 8 Ampere.

Il risultato raggiunto ha validato sia la struttura di cella sviluppata e messa a punto da ENEA sia la qualità dei processi ottimizzati nella linea pilota realizzata nella *clean room* del Centro di Portici.



A sinistra la cella a concentrazione PhoCUS in silicio cristallino. A destra, una immagine della sezione di un finger della griglia di contatto frontale, ottenuta al microscopio elettronico a scansione. Di particolare rilevanza l'aspect-ratio del pattern fotolitografato con la tecnica lift-off in un singolo step.

dal **MONDO****Primo progetto eolico
in Pakistan****Alla Francia
il sito di ITER****Impianto solare
ad alta efficienza****PRIMO PROGETTO EOLICO
IN PAKISTAN**

Un progetto per la generazione di energia eolica a livello commerciale è stato avviato in Pakistan. La realizzazione del "New Park Energy (NPE) Phase I", un'installazione da 45 megawatt che rappresenta la prima fase di un progetto eolico da 400 megawatt complessivi, è stata approvata dal governo pakistano tramite l'ente AEDB (Alternative Energy Development Board).

L'NPE Phase I, il primo progetto commerciale eolico realizzato nel paese asiatico, ha come obiettivo la produzione del 10% di tutta l'energia prodotta nel paese da fonti rinnovabili entro il 2015.

Nell'ambito del programma, l'AEDB ha previsto l'installazione di 1.800-2.700

megawatt di capacità eolica, che verranno raggiunti con l'implementazione di 170-270 megawatt all'anno. L'inizio dei lavori è previsto per il terzo trimestre del 2005, mentre l'installazione delle turbine eoliche da 1,5 megawatt, della GE Energy, seguirà entro la fine dell'anno.

Il completamento dell'impianto da 400 megawatt di capacità è previsto per il 2007.

**ALLA FRANCIA
IL SITO DI ITER**

Il Centro di Ricerche francese di Cadarache è stato scelto il 28 giugno come sito dove verrà costruito ITER, il reattore sperimentale nel quale fra dieci anni grazie ad un plasma a 100 milioni di gradi avverrà la fusione nucleare in grado di produrre 500 megawatt di potenza.

La scelta del sito francese, da parte di Corea, Cina, Stati Uniti, Russia, Giappone e Unione Europea, è arrivata dopo anni di stallo durante i quali sono stati in ballottaggio vari Centri tra i quali, in ultimo, quello giapponese di Naka.

L'importanza strategica a lungo termine del progetto è incalcolabile, prima di tutto perché ITER rimane l'unico progetto mondiale di vasta portata per la fusione, inoltre perché, se l'esperimento si dimostrerà efficace, entro il 2050 dovrebbe essere in grado di produrre energia nucleare da fusione a costi competitivi proprio in un momento in cui dovrebbe declinare l'economia del petrolio.

**IMPIANTO SOLARE
AD ALTA EFFICIENZA**

Un team guidato da ricercatori svizzeri del Paul Scherrer Institut e dell'Istituto federale svizzero di tecnologia (oltre a

partner francesi e svedesi) ha realizzato un completo impianto solare pilota della potenza di 300 kilowatt che, già dopo le prime settimane operative, ha dimostrato un'efficienza energetica del 30% (in termini di calore solare convertito in energia spendibile), quindi al di sopra delle più avanzate celle fotovoltaiche.

Una efficienza che i ricercatori sostengono potrà salire, su impianti di dimensione industriale, anche al 50-60%.

L'idea innovativa del progetto SolZinc, finanziato dal V PQ dell'UE, sta nell'aver realizzato un ciclo termochimico completamente rinnovabile.

A Rehovot, in Israele presso il Weizmann Institute, infatti, è stata costruita una torre solare che concentra il calore di una batteria di specchi e fornisce alla caldaia una temperatura di 1200 gradi, dove l'ossido di zinco si combina al carbonio di una biomassa producendo alla fine biossido di zinco in polvere.

Come risultato c'è una emissione di anidride carbonica di circa cinque volte inferiore rispetto ai tradizionali processi metallurgici di produzione dello zinco. Considerando poi il ciclo di vita della biomassa vegetale (che in precedenza ha prodotto ossigeno come pianta) l'intero processo ha un bilancio di emissione netta nullo o positivo.

La fornace solare sviluppata dal progetto SolZinc produce zinco puro gassoso (poi trasformato in polvere) al ritmo di mezza tonnellata al giorno. Ogni sera l'impianto si raffredda e viene ricaricato. E la polvere di zinco è pronta per le batterie elettriche, oppure mescolata a vapor d'acqua, per la produzione di idrogeno.

dall'**UNIONE EUROPEA**

Progetto in rete di bioinformatica

Regole tecniche per l'accesso all'informatica

Network europeo di ricerca sulla catalisi

PROGETTO IN RETE DI BIOINFORMATICA

Collegare fra loro numerosi centri di calcolo europei per realizzare ricerche sulla bioinformatica e sviluppare nuove applicazioni in questo settore è l'obiettivo del progetto europeo Bioinfogrid, approvato in estate dalla Commissione Europea e promosso da ricercatori italiani in collaborazione con alcuni dei più importanti centri di ricerca europei.

Bioinfogrid si avvarrà di una rete di servizi basata sulla avanzatissima tecnologia della rete Grid, creata dal progetto europeo Edge e che rappresenta la naturale evoluzione del Web.

In particolare, il progetto Bioinfogrid consentirà di agevolare

la sperimentazione nel campo della genomica, della proteomica, della trascrittomica e delle applicazioni della dinamica molecolare, diminuendo i tempi di elaborazione dei dati grazie alla possibilità di utilizzare contemporaneamente il calcolo distribuito su migliaia di computer in Europa e nel mondo.

REGOLE TECNICHE PER L'ACCESSO ALL'INFORMATICA

È stato pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* n. 183 dell'8 agosto 2005 il decreto del Ministro per l'Innovazione e le Tecnologie dell'8 luglio 2005 che stabilisce i requisiti tecnici e i diversi livelli per l'accessibilità agli strumenti informatici recentemente stabiliti dall'UE. Il 6 luglio 2005, infatti, la Commissione Europea, ai sensi della direttiva 98/34/CE, ha dato il via libera all'adozione del provvedimento. Il decreto dispone in modo dettagliato i requisiti che debbono avere i siti Internet e gli strumenti informatici (pc, ambiente operativo, applicazioni ecc.) per facilitare il loro utilizzo da parte dei diversamente abili. Per facilitare il riconoscimento dell'adeguamento è stato previsto un apposito logo, una sorta 'bollino blu di conformità', con una serie di asterischi che contraddistinguono il diverso livello di qualità del servizio. I privati che intendono aderire alla certificazione di qualità dovranno registrarsi presso il Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (CNIPA).

NETWORK EUROPEO DI RICERCA SULLA CATALISI

Nasce l'Istituto europeo di ricerca sulla catalisi.

Un punto di riferimento per la ricerca di frontiera e per

l'innovazione nel settore, che punta anche a un più stretto collegamento con le principali industrie che già lavorano nell'area e che rappresentano un fondamentale indotto del sistema produttivo.

L'avvio del nuovo organismo è stato dato a metà luglio, in occasione di un incontro che si è svolto presso la Cassa di Risparmio di Firenze.

Si chiamerà IDECAT (Integrated Design of Catalytic Nanomaterials for a Sustainable Production) e sarà coordinato dall'INSTM (Con-sorzio interuniversitario per la Scienza e la Tecnologia dei Materiali) e finanziato dalla Comunità europea con uno stanziamento di circa 9,5 milioni di euro. Il Network di eccellenza IDECAT è uno dei tre organismi a coordinamento italiano nel settore dei nanomateriali e copre un'area di notevole interesse scientifico e tecnologico per lo sviluppo di nuove soluzioni per una energia e chimica sostenibili.

Obiettivo del Network è quello di arrivare alla progettazione della futura generazione di catalizzatori che si fondano sull'assemblaggio controllato di nano oggetti catalitici, che permetta lo sviluppo di nuovi materiali basati sul concetto di 'nanofabbriche catalitiche'.

I settori di interesse vanno dallo sviluppo di processi chimici a basso impatto ambientale, a nuove soluzioni per un utilizzo razionale delle risorse come energia, materie prime alternative e rinnovabili, riutilizzo di rifiuti, a nuovi materiali per l'energia come celle a combustibili, uso dell'energia solare, alla protezione dell'ambiente e miglioramento della salute e al contributo alla soluzione di problemi globali, quali le emissioni di gas a effetto serra e l'inquinamento dell'acqua. Il Network IDECAT è costituito da una rete di 17 tra le principali istituzioni di ricerca del settore, che rappresentano 13 nazioni e circa 40 gruppi di ricerca leader a livello mondiale.

cronache

dall'**ITALIA**

L'Italia investe nel solare fotovoltaico

Varato il piano triennale del CNR

Nuova particella dall'esperimento BaBar

al pubblico anche alle famiglie, ai condomini e ai privati che potranno installare impianti con procedure semplici ed agevoli. Il decreto stabilisce, inoltre, una differenziazione tra le tipologie di impianti: piccoli (meno di 20kW), medi (tra 20-50 kW) e grandi (più di 50 kW).

Per avere diritto all'incentivo l'impianto dovrà essere esercito e mantenuto da parte del proprietario o dal condominio che potrà poi vendere la produzione di energia in eccesso alla rete ad una tariffa incentivante pari a circa tre volte la tariffa media di fornitura dell'energia elettrica.

Gli incentivi sono stati scelti in modo tale da cercare di superare gli attriti che il mercato del fotovoltaico presenta oggi.

VARATO IL PIANO TRIENNALE DEL CNR

È stato approvato dal Consiglio d'amministrazione del CNR il Piano strategico 2005-2007 che prevede una spesa di 3 miliardi di euro nel triennio, dei quali la metà verrà reperita attraverso contratti esterni. Le risorse finanziarie e di personale vengono ripartite per macroaree che riguarderanno: terra e ambiente; energia e trasporti; agroalimentare; scienze della vita; progettazione molecolare; materiali e dispositivi; sistemi di produzione; tecnologie dell'informazione e della comunicazione; identità culturale e patrimonio culturale.

Alla realizzazione degli 83 progetti previsti concorreranno oltre 100 istituti del CNR, all'interno dei quali sono stati identificati i gruppi di ricerca ai quali affidare le circa 650 commesse.

Le risorse verranno indirizzate per il 70 per cento alle ricerche strategiche, mentre un 15 per cento sarà riservato alla ricerca spontanea a tema libero e il restante 15 per cento allo sviluppo di competenze interne. Per il 2005 le risorse destinate

ad attività di ricerca sono circa 868 milioni di euro: di questi, 480 milioni da contributo dello Stato e gli altri da finanziamenti nazionali (FIRB, FAR e FIRS) ed europei (PQ della Ricerca).

NUOVA PARTICELLA DALL'ESPERIMENTO BaBar

Si chiama Y(4260) ed è una particella nuova individuata per la prima volta dall'esperimento BaBar: una collaborazione internazionale che vede la partecipazione dei fisici italiani dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare e che ha sede a Stanford, in California. Y(4260) rappresenta un interessante tassello nel quadro della conoscenza del mondo delle particelle e potrà fornire indizi utilissimi riguardo alla natura della forza forte, cioè della forza che tiene insieme le diverse particelle all'interno dei nuclei atomici.

La scoperta, annunciata nel corso del simposio internazionale "Leptom Photon" di Uppsala, in Svezia, è stata presentata, i primi di luglio, nel corso di un incontro del Comitato di Supervisione dell'esperimento BaBar, che quest'anno si è tenuto a Roma nella sede della Presidenza dell'INFN.

A prima vista Y(4260) sembra essere una particella formata dall'unione di un quark charm e della sua corrispondente anti-particella: un quark anti-charm. Ma alcune caratteristiche della sua natura sembrano essere insolite, ciò ha portato ad ipotizzare che la particella possa essere qualcosa di molto più complesso: una sorta di "molecola" formata da particelle chiamate mesoni D oppure uno stato composto da quattro quark. Non esistono prove definitive di questa interpretazione e verificare queste possibilità è la sfida che verrà affrontata nel prossimo futuro.

L'ITALIA INVESTE NEL SOLARE FOTOVOLTAICO

Per la prima volta si dà il via ad un decreto che incentiva l'installazione di 100 MW di impianti fotovoltaici, e si pone come obiettivo da raggiungere i 300 MW al 2015.

Gli incentivi verranno concessi in conto energia (e non in conto capitale), arriveranno cioè con l'energia prodotta il cui surplus può essere venduto alla rete elettrica a tariffe incentivanti.

Questa una delle novità del decreto che prevede incentivi per la produzione di energia elettrica da impianti fotovoltaici pubblicato sulla *Gazzetta Ufficiale* del 5 agosto 2005. Il nuovo progetto del Governo apre la porta del solare oltre che

dall'ENEA

Il commissariamento dell'ENEA

Il tessile a carattere tecnico

Dispositivi innovativi per il petrolchimico

Agrobiopolis: un polo scientifico per il Mezzogiorno

Collaborazione ENEA-Centro Ricerche Gomma della Malaysia

IL TESSILE A CARATTERE TECNICO

Il 7 giugno scorso si è tenuto a Carpi il convegno: "I nuovi tessili" organizzato dall'ENEA, dal Comune di Carpi, da Carpiformazione e dal progetto comunitario I R E N E (Innovation Relay Centre North East). Obiettivo del convegno è stato quello di valutare nuovi sbocchi per il sistema produttivo legato al tessile, ed in particolare per quello della

maglieria, che registra una profonda crisi a causa della concorrenza di paesi con basso costo del lavoro, con effetti significativi sull'economia di specifiche aree geografiche e dei distretti del settore. Il convegno ha posto perciò l'accento sulla diversificazione del settore verso produzioni di tessile a carattere tecnico, come già avvenuto in altri paesi, per consentire alle aziende del settore di aprirsi ad un mercato più ampio e trovare utilizzazioni molto diversificate: dal medicale alle costruzioni, dalle applicazioni industriali alla protezione, dai trasporti all'imballaggio.

In una "Vetrina Tecnologica" sono stati presentati anche i risultati delle ricerche effettuate presso i laboratori di Faenza riguardanti la messa a punto di processi di tipo Sol-Gel per l'applicazione di film sottili su cotone e poliestere; una tecnica che consente di conferire alla fibra tessile nuove funzionalità tra cui l'idrofobicità/idrofilicità, il potere antibatterico, l'anti-UV, l'anti-fiamma. L'ENEA ha anche illustrato il corso di formazione a distanza sui tessili tecnici, fruibile gratuitamente sulla piattaforma ENEA-learning.

DISPOSITIVI INNOVATIVI PER IL PETROLCHIMICO

L'ENEA ha organizzato presso il proprio Centro Ricerche di

Bologna, il 31 agosto scorso, un seminario internazionale per presentare i dispositivi più innovativi sviluppati per l'isolamento sismico degli impianti petrolchimici.

Tali dispositivi sono stati sviluppati nell'ambito di un progetto comunitario, denominato INDEPTH (Development of INnovative DEvices for Seismic Protection of PeTrochemical Facilities - Programma di Ricerca e Sviluppo Sostenibile della Commissione Europea - Direzione Generale della Ricerca), che ha permesso di condurre studi sull'impiego di tecnologie di isolamento sismico e di dissipazione energetica nelle strutture critiche degli impianti petrolchimici, per mitigare gli eventuali effetti conseguenti a fenomeni sismici, soprattutto per quegli impianti situati in aree ad alta sismicità, molto numerosi in Europa e, particolarmente, in Italia.

Il progetto si è focalizzato in particolare sui serbatoi che costituiscono una delle strutture più critiche degli impianti petrolchimici: eventuali danni a carico dei serbatoi possono infatti avere pericolose conseguenze sui lavoratori, sulla popolazione e sull'ambiente.

Le tecnologie di protezione sismica messe a punto per i serbatoi, in particolar modo per quelli sferici, potranno essere previste fin dalle fasi di progettazione nella costruzione di strutture petrolchimiche, ma potranno essere applicate anche a quelle già esistenti con appropriati lavori di adeguamento antisismico.

In occasione del Seminario esperti nazionali ed internazionali, oltre ad analizzare le realtà degli impianti petrolchimici, hanno illustrato i vari aspetti di ricerca sviluppati nell'ambito del Progetto

IL COMMISSARIAMENTO DELL'ENEA

Nel corso della riunione del Consiglio dei Ministri del 15 luglio scorso, il Presidente del Consiglio dei Ministri, su proposta del Ministro delle Attività Produttive, ha decretato lo scioglimento degli organi Presidente e Consiglio di Amministrazione dell'ENEA, di cui all'articolo 4, comma 1, lettere a) e b) del D.Lgs. 257/03.

Il Prof. Luigi Paganetto è stato nominato Commissario Straordinario dell'ENEA con tutti i poteri di ordinaria e straordinaria amministrazione, già intestati ai suddetti organi ordinari dell'Ente, per un periodo non superiore a quattro mesi.

Il Dott. Corrado Clini e l'Ing. Claudio Regis sono stati nominati Vice Commissari, con la medesima decorrenza e per il medesimo periodo, con il compito di coadiuvare il Commissario nelle sue attribuzioni, nonché di svolgere le funzioni delegate loro dallo stesso Commissario.

INDEPTH, miranti ad eliminare o limitare, quanto più possibile, i danni derivanti da un sisma.

Al Progetto Comunitario INDEPTH danno vita, oltre all'ENEA, le Società CESI Area ISMES - Seriate (BG), FIP Industriale - Selvazzano (PD), Hellenic Petroleum (Grecia), IWKA BKT GmbH (Germania), MMI Engineering (Gran Bretagna), PRINCIPIA Ingenieros Consultores S.A. (Spagna) e le Università di Patrasso (Grecia) e BOKU - Institute for Structural Engineering di Vienna (Austria).

AGROBIOPOLIS: UN POLO SCIENTIFICO PER IL MEZZOGIORNO

La più innovativa infrastruttura tecnico-scientifica nel campo delle biotecnologie applicate all'agro-alimentare, AGROBIOPOLIS, è diventata operativa al Centro Ricerche ENEA della Trisaia ed è stata presentata il 23 giugno agli operatori del settore e delle istituzioni.

Realizzato grazie ai finanziamenti dell'UE, con l'obiettivo di costituire un Centro di innovazione integrato di riferimento tecnico-scientifico per il settore agro-industriale del Mezzogiorno, ed in particolare per le piccole e medie industrie, AGROBIOPOLIS ha come obiettivi prioritari quelli di favorire: la presenza di laboratori di Ricerca e Sviluppo di imprese private all'interno del Centro; la nascita di Società spin-off, a capitale e composizione mista pubblico-privato; l'ospitalità di imprese di start-up; l'offerta di servizi tecnologici avanzati e specialistici alle imprese. AGROBIOPOLIS, in linea con le strategie dell'ENEA, partecipa a progetti europei di significativa complessità, che aggregano molteplici attori, ed in particolare: ricerche pionieristiche nel campo delle biotecnologie vegetali con progetti internazionale e nazionali; ricerche avanzate per

l'agro-industria che riguardano l'analisi del genoma e del proteoma attraverso lo sviluppo di strumentazioni di avanguardia per il sequenziamento, e di sistemi di calcolo finalizzati all'informatica.

COLLABORAZIONE ENEA-CENTRO RICERCHE GOMMA DELLA MALAYSIA

Il Ministro della Malaysia delle Piantagioni della gomma e dell'Industria ha visitato di recente il Centro Ricerche ENEA della Casaccia ed ha assistito alle prove di simulazione dei terremoti condotte nei laboratori del Centro con le tavole vibranti, per la verifica delle prestazioni di nuovi dispositivi a base di gomma naturale utilizzati come isolatori sismici.

Tali dispositivi sono stati sviluppati dal Centro Ricerche della Gomma della Malaysia, Tun Abdel Razak Research Centre, Malaysian Rubber Board.

Il Centro è stato fondato negli anni 30 in Inghilterra, vicino Londra, e finanziato con i proventi della gomma: attualmente il governo della Malaysia contribuisce al finanziamento con il 65%, mentre il restante 35% proviene da progetti finanziati dall'UE e dal mercato.

Il Centro da oltre dieci anni conduce attività di Ricerca e Sviluppo in collaborazione con l'ENEA sui dispositivi antisismici, nell'ambito di progetti europei. Si tratta di dispositivi da utilizzare per la protezione di strutture di vario tipo dagli effetti dei terremoti grazie alle caratteristiche di resistenza e flessibilità e durabilità della gomma naturale proveniente dalle piantagioni della Malaysia.

In Italia ci sono numerosi esempi dell'utilizzo di isolatori di gomma, che per la loro elevata capacità di filtrare le frequenze più dannose delle vibrazioni, vengono utilizzati per la prote-

zione antisismica degli edifici.

Il Centro di Ricerche della Gomma della Malaysia ha recentemente sviluppato nuovi dispositivi antisismici che utilizzano la gomma naturale, analoghi a quelli applicati per la prima volta in una scuola di Fabriano, o come gli isolatori tridirezionali, impiegati per smorzare vibrazioni sia orizzontali che verticali, che sono stati già installati a protezione di un'antica nave romana in esposizione al Museo Archeologico di Ercolano.

I test condotti nei laboratori dell'ENEA della Casaccia sui nuovi dispositivi in gomma naturale ne hanno confermato le capacità di isolamento.

Si tratta di dispositivi in grado di proteggere anche le strutture poste all'interno degli edifici, come apparecchiature sensibili, o oggetti d'arte di particolare importanza. Per questi ultimi si registra una crescente esigenza da parte delle strutture museali per soluzioni tecnologicamente avanzate di isolamento in grado di garantire la massima protezione dalle vibrazioni, soprattutto da quelle orizzontali, che provocano i maggiori danni.

Oltre alla protezione sismica, nel corso della visita sono state definite ulteriori linee di collaborazione tra l'ENEA ed il Centro Ricerche della Gomma della Malaysia per lo sviluppo di quei nuovi materiali speciali, ad alte prestazioni funzionali e strutturali, che uniscono le peculiari caratteristiche della gomma naturale con quelle tipiche delle ceramiche speciali, delle leghe metalliche superelastiche, dei nuovi materiali di sintesi a base polimerica e dei materiali nano strutturali studiati presso i Centri di Ricerca ENEA di Faenza, Portici, Brindisi e Casaccia.

INCONTRI

La ricerca in Italia

XLV convegno ERSA

Conferenza europea
sulle biomasse

Il convegno, al quale ha partecipato un'ampia e qualificata rappresentanza di esperti e operatori, ha focalizzato l'importanza della "sfida dell'innovazione" a partire da una forte diffusione della cultura scientifica lungo la "filiera della conoscenza": scuole, università, aziende e luoghi di lavoro. Comunicare la capacità di "saper fare" della ricerca pubblica appare infatti sempre più una necessità ineludibile.

liana attraverso l'analisi del progressivo indebolimento delle aree del paese maggiormente specializzate nelle produzioni ad alta intensità tecnologica ed è frutto degli studi condotti nell'ambito dell'Osservatorio ENEA sull'Italia nella competizione tecnologica internazionale.

(Daniela Palma)

XLV CONVEGNO ERSA

Dal 23 al 27 agosto si è tenuta ad Amsterdam presso la "Libera Università degli Studi" (Vrije Universiteit) la quarantacinquesima edizione del convegno organizzato annualmente dalla sezione Europea dell'Associazione di Scienze Regionali (ERSA, European Regional Science Association).

Oltre ai tradizionali temi di interesse dell'analisi regionale (urbanistica, trasporti, uso delle risorse naturali, pianificazione del territorio), l'iniziativa ha dato ampio spazio alle questioni connesse con lo sviluppo economico su base regionale, l'allargamento dell'economia europea ad Est, i processi di cambiamento strutturale derivanti dalla crescente globalizzazione delle economie e dalle dinamiche dello sviluppo tecnologico.

Numerosi sono stati i contributi scientifici proposti dai ricercatori italiani nei nuovi filoni disciplinari. In particolare sono stati presenti per l'ENEA Daniela Palma e Alessandro Zini (UDA) che nella sezione tematica "Globalizzazione e competitività regionale" hanno presentato un contributo dal titolo "Technological change and industry competitiveness through the evolution of localised comparative advantages".

Il lavoro fornisce una valutazione della perdita di competitività dell'industria manifatturiera ita-

CONFERENZA EUROPEA SULLE BIOMASSE

Dal 17 al 21 ottobre si è svolta a Parigi la 14ma edizione della Conferenza ed Esposizione Europea sulle Biomasse per l'Energia, l'Industria e la Tutela del Clima.

Organizzata da ETA - Renewable Energies di Firenze insieme a WIP - Energy and Environment di Monaco, ha assunto come principale obiettivo quello di mettere in evidenza il potenziale contributo della biomassa ai bisogni energetici sia per le economie sviluppate sia per quelle in via di sviluppo.

Parallelamente alla Conferenza, è stata promossa una mostra tecnologica di prodotti innovativi e di servizi relativi alla biomassa e alla bioenergia. Tanti i temi prescelti per i dibattiti che si sono tenuti durante i cinque giorni: ricerca e sviluppo delle tecnologie della bioenergia; dimostrazione e implementazione del mercato della biomassa per la produzione di calore, energia elettrica e combustibili per i trasporti; aspetti economici e vantaggi derivanti dall'uso della biomassa; cooperazione internazionale per lo sviluppo della bioenergia; biomassa nei Paesi in via di sviluppo per ridurre la povertà e favorire lo sviluppo sostenibile.

Per ulteriori informazioni:
biomass.conf@etaflorence.it
www.conference-biomass.com

LA RICERCA IN ITALIA

Il 15 giugno 2005, si è tenuto un convegno su "La ricerca in Italia: l'impatto scientifico, economico e sociale - Un primo bilancio e le nuove prospettive di intervento" promosso dal Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca e dal CNR. L'incontro aveva l'obiettivo di far conoscere ad un'ampia platea - istituzioni, amministrazioni pubbliche e private, associazioni di categoria, università, fondazioni e onlus - l'impatto che la ricerca pubblica ha e può avere sul sistema scientifico, sociale ed economico, con beneficio per la qualità della vita, la competitività e lo sviluppo sostenibile del Paese.

LETTURE

Nuclear energy data
OECD

Ambiente Condiviso

NUCLEAR ENERGY DATA
OECD

Nuclear Energy Agency
Paris, 2005, pagine 100, euro 24,00

La pubblicazione, denominata dagli addetti ai lavori "Brown Book", presenta i dati sull'energia nucleare nei paesi OCSE.

Nei 17 paesi membri aggiornati al 2005 che utilizzano l'energia nucleare per usi civili, risultano 352 unità operative nei primi mesi dell'anno 2005, sette unità in meno dell'anno precedente. Per quanto riguarda i nuovi impianti, alla fine del 2004, risultavano in costruzione otto unità per una potenza totale di 6,6 GWe e altre 19, per una potenza di 24,1 GWe, nel processo di richiesta di autorizzazione. Ad eccezione di una unità sita in Europa, tutte le altre

sono situate nella regione del Pacifico. La Finlandia ha approvato la costruzione di un nuovo reattore, l'EPR (European Pressurised Reactor). L'Electricité de France ha annunciato la costruzione di un reattore EPR in Normandia, a Flamanville ma la Commissione per il dibattito pubblico nazionale ha comunicato il 1° dicembre 2004 che la decisione finale dovrà essere presa nel 2005.

Nei prossimi cinque anni è prevista la chiusura di undici unità, per una capacità totale di 3,1GWe di cui sei nel Regno Unito. Inoltre, altre unità dovranno essere chiuse in Germania come conseguenza dell'uscita dal nucleare.

Nonostante la riduzione del numero di unità funzionanti, la capacità di produzione di elettricità di origine nucleare è aumentata dall'1% e l'elettricità generata è aumentata del 4,3% nei paesi OCSE dal 2003 al 2004, grazie ad una certa ripresa nel Giappone e negli Stati Uniti dopo i fermi per ispezione e manutenzioni del 2003.

Nel 2004, le centrali nucleari hanno prodotto il 23,5% dell'elettricità generata nei paesi OCSE rispetto al 23% del 2003. Nel Belgio, la Francia, la Repubblica Slovacca e la Svezia l'elettricità di origine nucleare ha superato il 50% del totale.

La quota di elettricità di origine nucleare in sei paesi membri (Canada, Francia, Germania, Ungheria, Giappone e Svezia) è aumentato grazie ad una migliore performance nel 2004 rispetto al 2003. Nel 2005, si prevede che la produzione di uranio naturale nei paesi OCSE sarà inferiore di circa 32.700 tonnellate rispetto alla domanda. La domanda non coperta dalla produzione sarà soddisfatta utilizzando le risorse secondarie: le importazioni, gli stock e quelle provenienti dal ritrattamento del combustibile irraggiato e dall'arricchimento dell'uranio impoverito. La capacità di conversione è leggermente inferiore alla domanda e verrà intergrata con le importazioni e gli stock. La capacità di arricchimento

e di fabbricazione di combustibile nucleare sono superiori alla domanda.

(Alicia Mignone)

AMBIENTE CONDIVISO

A cura di F. Giovanelli, I. Di Bella,
R. Coizet
Edizioni Ambiente, maggio 2005,
pagine 224, euro 20,00

Gli autori sostengono che oggi la politica ha bisogno di ambiente per riprendere concretezza attraverso la nuova visione proposta dalla sostenibilità. E, dall'altro lato, l'ambiente ha bisogno di politica, perché non è possibile salvaguardare le risorse senza fare i conti con le variabili economiche e con l'equità sociale. L'integrazione dell'ambiente nella politica è una svolta di grande portata. Cambiano i valori di riferimento e gli obiettivi, di conseguenza devono cambiare le azioni e i programmi di chi ha responsabilità di governo, a livello locale, nazionale e sovranazionale. Ma quali sono gli strumenti per affrontare questa svolta? Quali azioni concrete possono essere effettuate dai governi locali per promuovere trasparenza e partecipazione, e realizzare un progetto politico che leghi gli aspetti ambientali con quelli economici e sociali?

Gli autori propongono analisi, metodologie ed esempi concreti, con una riflessione critica sulla strumentazione attualmente disponibile e molti spunti innovativi. I temi vanno da un riordino dei termini con cui definire il problema, al bilancio ambientale come riforma della *governance*; dalla distinzione degli strumenti rispetto ai loro obiettivi, ai modelli di democrazia locale; da proposte sul rapporto locale/globale, alle esperienze dei bilanci di sostenibilità e ad una sintesi delle politiche ambientali dell'Unione Europea.

Il volume dimostra la necessità di superare le cosiddette "politiche ambientali", separate e settorializzate, per promuovere un approccio sistemico e integrato verso un *ambiente condiviso*.