

Bimestrale dell'ENEA
Anno 53, marzo-aprile 2007

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

Direttore responsabile

Mauro Basili

Direttore esecutivo

Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico

Oswaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo,
Stefano Giammartini, Rino Romani, Emilio Santoro

Responsabile editoriale

Diana Savelli

Coordinamento editoriale

Alida La Croce
ENEA-Lungotevere Thaon di Revel 76,
00196 Roma,
Tel. 06-36272401,
e-mail: lacroced@sede.enea.it

Collaboratori

Antonino Dattola, Giuliano Ghisu

Progetto grafico

Bruno Giovannetti, Cristina Lanari

In copertina

Impianto Prova Collettori Solari,
Centro Ricerche ENEA Casaccia
(Foto: Luca Zampieri)

Stampa

Tipografia Primaprint srl,
azienda con Sistema di Gestione Ambientale
certificata UNI EN ISO 14001:2004
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 srl

Abbonamento annuale

Italia € 21,00, Estero € 21,00; una copia € 4,20
C.C.P. n. 59829580 intestato a Primaprint srl
Via dell'Industria, 71 - 01100 Viterbo -
Tel. 0761-353676 - Fax 0761-270097
e-mail: info@primaprint.it

Finito di stampare nel mese di maggio 2007
su carta ecologica riciclata Symbol Freelifa della
Fedrigoni Cartiere SpA
certificata SQS ISO 14001:2004



www.enea.it

4

CONTROLLO DELLA PROLIFERAZIONE NUCLEARE E NUOVI APPROCCI MULTILATERALI ALLA GESTIONE DEL CICLO DEL COMBUSTIBILE

*CONTROL OF NUCLEAR PROLIFERATION AND NEW MULTILATERAL
APPROACHES TO FUEL CYCLE MANAGEMENT*

Carlo Mancini, Raffaele Di Sapia

14

IL GOVERNO E LA SICUREZZA DELLE GRANDI RETI TECNOLOGICHE ED ENERGETICHE

*MANAGEMENT AND SAFETY OF LARGE COMPLEX
TECHNOLOGICAL AND ENERGY NETWORKS*

Sandro Bologna

con la collaborazione di: C. Balducelli, E. Ciancamerla, G. Di Costanzo, G. Dipoppa,
A. M. Gadowski, L. Lavalle, M. Minichino, V. Rosato, G. Vicoli

36

30 ANNI DI EFFICIENZA ENERGETICA IN ITALIA: IL CONTRIBUTO DELL'ENEA

THIRTY YEARS OF ENERGY EFFICIENCY IN ITALY: ENEA'S CONTRIBUTION

Americo Carderi, Walter Cariani, Franco Degli Atti, Nino Di Franco,
Maura Liberatori, Rino Romani, Sigfrido Vignati

60

CRONACHE DALL'ANTARTIDE

CHRONICLES FROM THE ANTARCTIC

Giovanni Scabbia

70

LA STAMPA A GETTO DI INCHIOSTRI FUNZIONALI

FUNCTIONAL INK-JET PRINTING

Dario Della Sala, Fausta Loffredo, Gianbattista Burrasca



86

IL NUCLEARE DI QUARTA GENERAZIONE

A cura di Emilio Santoro



88

DAL MONDO, DALL'UNIONE EUROPEA, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, INCONTRI, LETTURE

- dal Mondo
 - Rapporto IPCC sull'impatto del clima **88**
- dall'Unione Europea
 - Cristalli italiani per il CERN **89**
 - L'Istituto di Tecnologia: una necessità per l'Europa **89**
- dall'Italia
 - Firmato l'accordo per Archimede **90**
 - Un portale per "acquisti verdi" **90**
 - Il precariato nel lavoro scientifico **91**
- dall'ENEA
 - Dalle piante un vaccino antipapilloma **92**
 - Frascati, il Parco di Villa Sciarra dedicato alla scienza **91**
 - Il sistema "Atmosfera" per monitorare l'inquinamento urbano **93**
 - Una nuova risorsa contro l'avitaminosi A **93**
- Incontri
 - Rapporto Energia e Ambiente 2006 **94**
 - Conferenza Internazionale di Robotica **95**
 - XVII Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica **95**
- Letture
 - Premiare il lavoro **96**



Controllo della proliferazione nucleare e nuovi approcci multilaterali alla gestione del ciclo del combustibile

Carlo Mancini*, Raffaele Di Sapia**

Nonostante il Trattato di Non Proliferazione, vi è la consapevolezza che il rischio di aumento del numero di paesi dotati di capacità nucleari militari sia destinato a crescere. Si intensifica, il dibattito su nuove misure atte a porre un freno alla diffusione "orizzontale" delle tecnologie di arricchimento dell'uranio e di ritrattamento del combustibile irraggiato con la separazione del plutonio

Control of nuclear proliferation and new multilateral approaches to fuel cycle management

Despite the Non Proliferation Treaty, the world is aware today that the risk of more countries acquiring nuclear weapon capabilities is destined to rise. Debate is intensifying on new measures to counter the horizontal dissemination of technologies for enriching uranium and reprocessing irradiated fuel to separate out plutonium



Il problema della proliferazione delle armi nucleari è stato all'attenzione della politica internazionale fin dagli albori delle applicazioni dell'energia nucleare per gli usi civili ed è oggi fonte di rinnovata preoccupazione dopo i recenti sviluppi in Iran e nella Corea del Nord. Il Trattato di Non Proliferazione (TNP), al quale aderiscono attualmente 188 paesi¹, è stato lo strumento fondamentale per disciplinare questa complessa materia. Esso stabilisce un quadro di riferimento per regolare il commercio internazionale di materiali, tecnologie, impianti destinati alle applicazioni pacifiche dell'energia nucleare, e per assicurare controlli e salvaguardie atti ad evitare la proliferazione nucleare "orizzontale", ossia l'aumento del numero di paesi dotati di capacità nucleari militari.

Il TNP riconosce l'esistenza dei cinque paesi² che alla sua entrata in vigore, nel 1970, avevano già acquisito una capacità nucleare militare, i cosiddetti *Nuclear Weapon States* (NWS) e chiede loro di impegnarsi in negoziati per porre



fine, appena possibile, alla corsa agli armamenti nucleari (la cosiddetta proliferazione "verticale") e per ridurre gli arsenali esistenti, con l'obiettivo del disarmo nucleare totale. A tutti gli altri paesi membri, i *Non Nuclear Weapon States* (NNWS), inclusi quelli in via di sviluppo, il Trattato offre la cooperazione tecnologica dei paesi avanzati per favorire le applicazioni pacifiche del nucleare, a fronte dell'impegno a non perseguire lo sviluppo dell'energia nucleare a fini militari.

Oggi, a quasi quarant'anni dalla sua entrata in vigore, si deve riconoscere che, mentre in materia di disarmo nucleare i progressi compiuti sono ancora relativamente modesti, il TNP ha avuto pieno successo nel contrastare la proliferazione orizzontale, nonostante le previsioni poco incoraggianti avanzate inizialmente da alcuni esperti e anche da autorevoli personalità politiche. Per quanto è dato sapere, non vi sono paesi aderenti al Trattato che abbiano sviluppato compiutamente armi nucleari, e alcuni paesi impegnati in attività clandestine sono stati identificati ed efficacemente contrastati con gli strumenti previsti dal TNP. La stessa Corea del Nord, le cui violazioni di conformità con gli impegni posti dal TNP erano state notificate al Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite già nel 1992, ha compiuto nel 2006 il primo esperimento nucleare, solo dopo tre anni dal suo ritiro dal Trattato³.

Vi è tuttavia la crescente consapevolezza, anche alla luce dei due eventi sopra richiamati, che con l'espandersi dei programmi nucleari nei paesi che già sfruttano questa fonte di energia (attualmente 30, la maggior parte appartenenti all'area OCSE) e con l'affacciarsi sulla scena nucleare di nuovi paesi, prevalentemente in via di sviluppo, il rischio della proliferazione orizzontale sia desti-

nato a crescere e che sia necessario intervenire con nuove misure atte a rafforzare il regime internazionale contro la proliferazione nucleare.

L'idea di esercitare una qualche forma di controllo internazionale sull'intero ciclo del combustibile nucleare, o su parte di esso, per ridurre il rischio di proliferazione non è nuova. Già il Trattato Euratom del 1957 istituiva a livello europeo l'Agenzia di Approvvigionamento del combustibile nucleare (*Euratom Supply Agency*); lo statuto dell'AIEA, anch'esso del 1957, prevedeva la possibilità di esercitare un controllo sulle forniture di combustibile da parte dell'Agenzia; agli inizi degli anni 80, la Conferenza internazionale INFCE (*International Nuclear Fuel Cycle Evaluation*), individuava meccanismi finalizzati a fornire alla comunità internazionale gli strumenti necessari per il controllo della proliferazione nucleare.

Le misure che si stanno esaminando ora sono riferibili essenzialmente ai seguenti obiettivi, fra loro complementari e sinergici:

- potenziare i controlli internazionali dell'AIEA, l'Agenzia atomica dell'ONU, attraverso l'adozione obbligatoria e non più solo volontaria, come avviene oggi, del Protocollo Aggiuntivo (*Additional Protocol*)⁴, ad integrazione dei vigenti Accordi di Salvaguardia;
- rendere più efficaci e trasparenti i controlli sulle esportazioni di materiali, tecnologie e impianti, con una più estesa partecipazione alla loro definizione e attuazione di tutti i paesi interessati;
- porre un freno alla diffusione in un numero sempre più ampio di paesi, delle tecnologie "sensibili" del ciclo del combustibile nucleare – tipicamente quelle relative all'arricchimento dell'uranio (*front-end*) e al ritrattamento



del combustibile irraggiato con la separazione del plutonio (*back-end*) – attraverso meccanismi multilaterali che ne favoriscano la concentrazione in contesti più “affidabili”.

Nel presente articolo, l’attenzione è rivolta alle misure della terza categoria e alle numerose proposte che al riguardo sono state avanzate, nel corso del 2006, dai Governi di alcuni paesi e da organizzazioni non governative (ONG). Tali proposte hanno formato l’oggetto di un approfondito dibattito nel corso di un Convegno internazionale organizzato ai margini della 50ª Sessione della Conferenza Generale dell’AIEA (Vienna, 19-21 settembre 2006), con più di 300 partecipanti (delegati nazionali, esperti nucleari, rappresentanti dell’industria) provenienti da 61 paesi e da numerose ONG. La denominazione suggestiva data all’incontro: “*New Framework for the Utilization of Nuclear Energy in the 21st Century: Assurance of Supply and Non-Proliferation*” dimostra l’importanza attribuita dalla comunità internazionale a questo tema, destinato ad avere profonde implicazioni sui futuri sviluppi dell’energia nucleare.

Le varie proposte traggono origine sostanzialmente dagli studi sulla problematica dei *Multilateral Nuclear Approaches* (MNA) per la gestione del ciclo del combustibile nucleare condotti, nel corso del 2004, da un gruppo internazionale di esperti istituito dal Direttore Generale dell’AIEA, Mohamed ElBaradei. A conclusione dei lavori⁵ il gruppo di esperti ha suggerito una serie di possibili schemi multilaterali, in ordine crescente di complessità e di coinvolgimento da parte dei paesi partecipanti, che vanno da semplici meccanismi atti ad assicurare la continuità delle forniture (*assurance of supply*) del combustibile nucleare ai paesi che non hanno una capacità autonoma

di produzione, fino alla costituzione di centri operanti su scala multinazionale (in particolare a livello regionale) per la fornitura di servizi del ciclo del combustibile quali l’arricchimento dell’uranio, il ritrattamento del combustibile irraggiato e lo smaltimento dei rifiuti radioattivi. Il gruppo di esperti ha anche suggerito che l’accesso ai meccanismi multilaterali sia concesso solo ai paesi che decidono per autonoma scelta, e a fronte dei vantaggi attesi, di rinunciare a sviluppare e utilizzare, in ambito nazionale, tecnologie e impianti sensibili, almeno per l’intera durata degli accordi sottoscritti. La condizione della rinuncia volontaria e non imposta, è stata giudicata dagli esperti fondamentale ai fini del rispetto dell’articolo IV del TNP e una dimostrazione della “buona fede” dei paesi che si candidano a partecipare.

Le prime proposte operative sono state avanzate rispettivamente: dagli Stati Uniti, dalla Russia e, congiuntamente, da Francia, Germania, Paesi Bassi, Russia, Regno Unito e Stati Uniti, i sei paesi con una consolidata esperienza nella fornitura dei servizi di arricchimento dell’uranio. A queste tre proposte ne sono seguite altre, presentate in occasione del citato Convegno.

Di seguito, vengono descritte e analizzate in dettaglio le prime tre proposte che hanno un livello di elaborazione maggiore e coprono, sostanzialmente, l’intero spettro delle ipotesi sinora considerate. Nell’ultima sezione dell’articolo, si riferisce sulle proposte avanzate e sugli esiti del Convegno.

La proposta degli Stati Uniti

La proposta americana, denominata *Global Nuclear Energy Partnership* (GNEP), è certamente di tutte la più articolata e ambiziosa. L’obiettivo principale del progetto americano consiste nella creazione di



un nuovo regime internazionale per la gestione del ciclo del combustibile nucleare, in cui sono presenti paesi detentori delle tecnologie sensibili del ciclo e paesi che rinunciano volontariamente ad acquisire tali tecnologie a fronte dei benefici ottenuti dalla collaborazione con i primi. Il gruppo dei paesi detentori (*suppliers*) si impegna a fornire ai paesi del secondo gruppo (*recipients*) il combustibile nucleare di cui essi hanno bisogno per alimentare i loro impianti e a ritirarlo dopo che è stato utilizzato. I servizi del ciclo del combustibile sarebbero assicurati, a prezzi competitivi, da un consorzio industriale (*International Fuel Services Consortium*) istituito dai paesi del primo gruppo.

I benefici per i paesi del secondo gruppo sono evidenti: essi otterrebbero forniture di combustibile nucleare "garantite" e a prezzi equi, senza dover provvedere agli ingenti investimenti finanziari per le infrastrutture del ciclo (economicamente non giustificabili per programmi nucleari relativamente limitati) e senza doversi fare carico dello smaltimento dei rifiuti radioattivi ad alta attività e lunga vita associati al combustibile irraggiato (i cosiddetti rifiuti di "terza categoria").

Per la sua piena attuazione, lo schema proposto dalla GNEP richiede lo sviluppo, da parte dei paesi del primo gruppo, di tecnologie avanzate per la gestione del combustibile irraggiato, con caratteristiche non proliferanti e, soprattutto, che consentano di ridurre drasticamente la quantità di rifiuti di "terza categoria" da avviare allo smaltimento geologico. Non sarebbe, infatti, pensabile di ritirare dai paesi del secondo gruppo il combustibile irraggiato e provvedere allo smaltimento dei rifiuti radioattivi, senza disporre di tali tecnologie e delle relative infrastrutture.

Si deve d'altra parte osservare che programmi di sviluppo delle tecnologie

avanzate per il *back-end* del ciclo sono da tempo nell'agenda degli Stati Uniti e di altre nazioni progredite nel settore nucleare e che la GNEP, se avrà successo, fornirà solamente uno stimolo a procedere più rapidamente su di un percorso già iniziato e, comunque, ineludibile.

Le tecnologie avanzate considerate dalla GNEP riguardano nuovi processi per il ritrattamento del combustibile irraggiato che consentano la separazione di tutti gli elementi transuranici in esso contenuti, e non, come avviene con i processi di separazione oggi in uso, del solo plutonio. Gli elementi transuranici, compreso il plutonio, sarebbero poi bruciati in un apposito reattore nucleare a neutroni veloci, l'*Advanced Burner Reactor (ABR)*, anche questo da sviluppare. I vantaggi sono: lo sfruttamento del contenuto energetico degli elementi transuranici, attualmente considerati rifiuti radioattivi e avviati allo smaltimento insieme ai prodotti di fissione; l'adozione di un processo di separazione che non estrae il plutonio isolatamente ed è quindi più "resistente" alla proliferazione; la trasmutazione di tutti gli elementi transuranici in radioisotopi a vita molto più breve che non necessitano, pertanto, di restare isolati dall'ecosistema per tempi geologici, come oggi si richiede per i rifiuti di "terza categoria". Secondo i piani attuali, il primo impianto commerciale di ritrattamento, dotato delle nuove tecnologie, sarà disponibile attorno al 2020 e il primo prototipo di ABR nel 2023. Prima di quella data la GNEP non potrà dunque funzionare a pieno regime e in questa lunga fase di avviamento è prevista l'adozione di un regime transitorio - per ora non meglio specificato - coerente con gli obiettivi dell'iniziativa.

Fra i programmi dell'iniziativa americana vi è anche lo sviluppo di nuovi reatto-

ri nucleari di piccola taglia (fra 50 e 350 MW elettrici) per i paesi in via di sviluppo. Questi reattori dovrebbero essere progettati per funzionare con una sola carica di combustibile durante l'intera vita dell'impianto, semplificandone notevolmente la gestione e rendendo i nuovi sistemi più resistenti alla proliferazione nucleare.

La GNEP, infine, intende perseguire lo sviluppo, in collaborazione con l'AIEA, di nuove tecnologie per il rafforzamento dei sistemi di salvaguardia contro la proliferazione. Ciò varrà, in special modo, per i nuovi impianti previsti dall'iniziativa, che saranno dotati di particolari sistemi di controllo e di monitoraggio facenti parte integrante del progetto: con questi dispositivi ogni sottrazione di materiali nucleari, o modifica dei sistemi esistenti, sarà tempestivamente rilevata.

Tutti i programmi della GNEP saranno svolti sotto il controllo dell'AIEA e non vi sarà alcuna promiscuità (e neppure contiguità) con eventuali programmi militari condotti dai paesi del primo gruppo (*suppliers*).

La proposta della Russia

La proposta russa è stata avanzata dal presidente Putin nel contesto dei lavori del G8, di cui la Russia ha detenuto la presidenza nel 2006.

Assumendo a riferimento uno degli schemi suggerito dal gruppo di esperti dell'AIEA, la Russia ha proposto la creazione di una rete di centri internazionali per la fornitura dei servizi del ciclo, sotto il controllo AIEA, facenti capo a paesi che già detengono il *know-how* delle relative tecnologie "sensibili" e aperti all'accesso di paesi interessati alle forniture che non intendano perseguire lo sviluppo e l'uso di tali tecnologie.

Come primo, concreto passo in questa direzione, la Russia si è offerta di creare un centro internazionale per l'arricchimento dell'uranio presso l'*Angarsk Electrolysis Chemical Combine*, situato in prossimità della città di Angarsk nella Siberia orientale.

Il centro internazionale, che potrebbe essere operativo già nei primi mesi del 2007, sarà aperto, senza alcuna discriminazione, alla partecipazione di altri paesi che rispettino pienamente gli obblighi internazionali di non proliferazione. I paesi aderenti saranno legati fra loro da un accordo intergovernativo e la gestione operativa e finanziaria del centro sarà assicurata da una apposita società costituita fra i rappresentanti esecutivi dei paesi aderenti, che stabilirà, in particolare, gli indirizzi per la politica dei prezzi e di *marketing* dei servizi e dei prodotti forniti dal centro. Tutte le attività si svolgeranno sotto i controlli di salvaguardia dell'AIEA, che svolgerà anche la funzione di "osservatore" nella società di gestione.

Nello schema russo non appare la richiesta esplicita, per i paesi aderenti, di rinunciare allo sviluppo e all'uso autonomo delle tecnologie "sensibili", anche se si dice chiaramente che essi non avranno accesso alle tecnologie per l'arricchimento dell'uranio utilizzate dal centro.

Il Kazakhstan è il primo paese che ha espresso l'intenzione di partecipare a questa iniziativa e sono già iniziate le trattative per la sua adesione.

La proposta congiunta di Francia, Germania, Paesi Bassi, Regno Unito, Russia e Stati Uniti

Assumendo, anche in questo caso, a riferimento uno degli schemi suggerito dal gruppo di esperti dell'AIEA, con questa iniziativa, denominata "*Concept for*



a *Multilateral Mechanism for Reliable Access to Nuclear Fuel*" i sei paesi propongono, per la fornitura del combustibile nucleare arricchito, l'istituzione di un meccanismo di soccorso (*back-up mechanism*) che non intende sostituirsi alle normali transazioni commerciali. Il meccanismo interverrebbe solamente quando un contratto in essere viene interrotto per ragioni essenzialmente di natura politica, che non attengono, pertanto, a problemi di tipo commerciale o tecnico. Per poter accedere a questo meccanismo il destinatario dei servizi deve avere rinunciato a dotarsi di una capacità autonoma di intervento nei settori "sensibili" del ciclo, decidendo di astenersi da ogni attività a questi riferibile sia di R&S, sia di costruzione ed esercizio di impianti.

Con il meccanismo proposto, la continuità delle forniture sarebbe assicurata (*assurance of supply*) dall'intervento di operatori alternativi (subentranti al fornitore iniziale), opportunamente selezionati, i cui paesi di appartenenza si adopererebbero, assieme all'AIEA, a facilitare il raggiungimento di soluzioni accettabili e funzionali. Il meccanismo di soccorso potrebbe essere ulteriormente rafforzato con la creazione di riserve ("banche") di combustibile arricchito, alle quali fare ricorso, con l'autorizzazione dell'AIEA, nei casi in cui i tempi per il ripristino della fornitura si prolungassero eccessivamente.

L'AIEA agirebbe da garante degli interventi e ad essa spetterebbe il compito di decidere se il paese che ricorre al meccanismo di soccorso ha "le carte in regola" per poterne beneficiare. A questo fine è richiesto che il paese, oltre alla rinuncia ad acquisire le tecnologie "sensibili" del ciclo, sottoscriva con l'AIEA uno specifico Accordo di Salvaguardia integrato dal Protocollo Aggiuntivo; operi in conformità con gli standard nu-

cleari internazionalmente riconosciuti e, infine, aderisca alla Convenzione sulla Protezione Fisica dei Materiali e degli Impianti Nucleari.

Alcune considerazioni sulle tre proposte

Come già osservato, la GNEP è una proposta decisamente ambiziosa, che guarda anche agli sviluppi tecnologici necessari per spianare la strada al futuro dell'energia nucleare e per il rilancio dei programmi di costruzione delle nuove centrali nucleari negli Stati Uniti. In questo senso essa apre nuovi interessanti orizzonti alla cooperazione internazionale nei settori del ritrattamento del combustibile esaurito e dello smaltimento dei rifiuti radioattivi. Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla non proliferazione, la GNEP contiene, forse intenzionalmente, elementi di genericità e di indefinitezza. In particolare, nulla viene detto sulla natura degli accordi fra paesi fornitori (*suppliers*) e paesi utilizzatori (*recipients*) durante il lungo periodo (circa 20 anni) che intercorrerà fra il lancio dell'iniziativa e il momento in cui sarà possibile ritrattare il combustibile irraggiato, usando i nuovi processi. Inoltre, non è chiaro come si configuri il consorzio industriale che dovrebbe fornire i servizi del ciclo del combustibile, né quali siano i criteri per la determinazione dei prezzi, considerato che il consorzio si troverebbe, in buona sostanza, in una posizione di monopolio.

La proposta russa si muove nel solco dei precedenti studi condotti in ambito AIEA. L'idea dei centri e delle imprese multinazionali per la fornitura dei servizi del ciclo del combustibile non è nuova e vi sono precedenti nel campo dell'arricchimento (EURODIF e URENCO) e del ritrattamento (EUROCHEMIC) dai quali si possono trarre utili insegnamen-

ti per le nuove iniziative. Si tratta, indubbiamente, di un modello operativo efficace di cooperazione multilaterale fra paesi detentori delle tecnologie sensibili e paesi utilizzatori che, nel tempo, potrebbe affermarsi su scala regionale e, in prospettiva, globale.

Una differenza importante si può evidenziare fra l'iniziativa russa e quella americana. Lo schema dei centri internazionali proposto dalla Russia prevede che tutti gli aderenti partecipino alla proprietà comune e alla gestione delle nuove iniziative. Nel caso della GNEP, invece, i paesi del primo gruppo restano nettamente separati dai paesi del secondo gruppo: i primi forniscono i servizi e i secondi li utilizzano senza alcuna possibilità di interagire con i primi nelle scelte e nella gestione (ivi incluse le decisioni sulla formazione dei costi). Una distinzione così marcata fra paesi fornitori che detengono le tecnologie (*haves*) e paesi riceventi che vi hanno rinunciato (*have-nots*), costituisce sicuramente un elemento a sfavore dello schema americano quanto a capacità di attirare consensi. La proposta dei sei va incontro all'esigenza, apparentemente molto sentita da alcuni paesi, di dare maggiore certezza e continuità alle forniture del combustibile arricchito. Ci si può chiedere, in effetti, quanto la sicurezza degli approvvigionamenti di combustibile arricchito sia oggi a rischio. Il mercato funziona relativamente bene ed è basato, in genere, su contratti di lungo termine che non hanno quasi mai riservato sorprese. Ciò detto, si deve riconoscere che il meccanismo proposto dovrebbe servire a ridurre la propensione dei paesi che non si sentono oggi sufficientemente garantiti, a dotarsi di una capacità autonoma di arricchimento dell'uranio. Inoltre, cosa forse ancora più importante, tale meccanismo sgombra il campo da un argomento (quello della incertez-

za degli approvvigionamenti) che può essere usato pretestuosamente da paesi che, in realtà, intendono utilizzare la capacità di arricchimento per fini militari. In definitiva, la proposta dei sei, così come altre proposte che perseguono gli stessi obiettivi, di cui si riferisce nel seguito, può rappresentare un primo efficace passo per favorire la concentrazione dei servizi di arricchimento in contesti affidabili.

Gli esiti del Convegno "New Framework for the Utilization of Nuclear Energy in the 21st Century: Assurance of Supply and Non-Proliferation"

Come già detto, al Convegno sono state presentate altre proposte, in aggiunta alle tre precedentemente descritte. Esse ruotano tutte attorno alla problematica della sicurezza degli approvvigionamenti del combustibile arricchito.

Due di queste, avanzate rispettivamente dal Giappone e dal Regno Unito, aggiungono alcuni elementi alla proposta dei sei tendenti a rafforzare il ruolo dell'AIEA nella gestione del meccanismo di soccorso. Il Giappone, in particolare, che non è per il momento presente sul mercato delle forniture del combustibile e si vuole lasciare aperta la porta per entrarvi, propone che l'AIEA si pronunci non solo sulla eleggibilità dei paesi riceventi ma anche su quella dei fornitori. La terza proposta, accolta con molto interesse al Convegno, è stata avanzata dalla *Nuclear Threat Initiative (NTI)*⁶. Con essa viene resa immediatamente disponibile la somma di 50 milioni di dollari per costituire una riserva di uranio debolmente arricchito, a condizione che l'AIEA ne assuma la proprietà e la gestione e che uno o più Stati membri conferiscano all'iniziativa altri 100 milioni (in danaro e/o in natura)⁷. Anche in que-



sto caso la riserva di combustibile assicurerebbe una funzione di *back-up* per i paesi che abbiano scelto di non perseguire autonomamente la via dell'arricchimento dell'uranio.

Va segnalata, infine, la proposta del ministro degli Esteri tedesco, Steinmeier, presentata in una intervista al quotidiano *Handelsblatt* (citata anche nell'intervento del rappresentante della Germania alla 50^a Conferenza Generale dell'AIEA) che prefigura la creazione, su iniziativa e sotto il controllo diretto dell'Agenzia, di un impianto di arricchimento dell'uranio, anche questo destinato ad interventi di *back-up*, gestito da una impresa commerciale con la partecipazione dei paesi interessati all'iniziativa. Questa proposta, in una versione ulteriormente elaborata, dovrebbe essere presentata formalmente dalla Germania nel corso del 2007, durante il semestre di presidenza dell'Unione Europea e la contemporanea presidenza del G8. Il dibattito che si è sviluppato nel corso del Convegno ha riguardato una pluralità di argomenti senza raggiungere conclusioni definitive, né ci si aspettava che ciò potesse accadere.

Quanto alla natura delle forniture di combustibile conferite dai meccanismi di soccorso, si è discusso a lungo se queste dovessero essere limitate al solo materiale (l'uranio arricchito), o se dovessero riguardare anche gli elementi di combustibile finiti (pronti per il caricamento in reattore). Si è dovuto riconoscere che la seconda ipotesi, certamente più attraente, pone problemi di non facile soluzione considerata la grande varietà di combustibili in uso e la specificità dei singoli progetti, normalmente protetti da diritti di proprietà che si estendono anche al sistema del reattore.

Quanto ai requisiti richiesti per poter beneficiare dei meccanismi di soccorso (*conditions governing eligibility*) due ele-

menti sono emersi con chiarezza: che le regole di accesso devono essere uguali per tutti senza discriminazioni fra i diversi paesi; che ogni condizione restrittiva posta all'accesso (in particolare l'assenza di programmi autonomi per lo sviluppo e l'utilizzazione delle tecnologie sensibili) sia suffragata da una libera scelta dei paesi beneficiari, nel pieno rispetto dell'articolo IV del TNP.

Le varie ipotesi in discussione indicano compiti diversi per l'AIEA, che si estendono dalla semplice facilitazione delle iniziative, all'assunzione del ruolo di supervisore e di garante, fino all'acquisizione della proprietà dei beni (combustibile arricchito e impianti). È stato riconosciuto che lo Statuto dell'Agenzia è sufficientemente ampio da consentire tutti questi ruoli, che tuttavia dovranno essere integrati da opportuni accordi con le altre parti interessate.

Sono stati discussi, infine, anche i possibili ruoli dell'industria nucleare, come fornitrice dei beni e dei servizi conferiti dai meccanismi di soccorso. Secondo alcuni, le forniture, almeno in prospettiva, non dovrebbero essere limitate al combustibile nucleare, ma comprendere anche la tecnologia e i componenti dei reattori nucleari. Un aspetto al quale l'industria è molto sensibile riguarda il rispetto delle regole di mercato e la preoccupazione che i meccanismi di soccorso possano in qualche modo distorcere la libera concorrenza. Su questo tema la *World Nuclear Association* (WNA), associazione del settore industriale nucleare con sede a Londra, ha contribuito al Convegno con uno studio del maggio 2006 (*Ensuring Security of Supply in the International Fuel Cycle*) che rappresenta il punto di vista di un *Panel* di 28 esperti dell'industria nel settore dell'arricchimento dell'uranio, compresi i quattro grandi operatori commerciali a livello mondiale⁸. Il

Panel ha dato suggerimenti su come limitare le interferenze sul libero mercato delle iniziative dei Governi, dettate dalle esigenze di non-proliferazione, riconoscendo, peraltro, che su tali iniziative non dovrà venire meno la collaborazione dell'industria, a condizione che gli stessi Governi siano disposti ad accollarsi i costi aggiuntivi che potrebbero derivarne.

I lavori del Convegno sono stati coordinati da Charles Curtis - già viceministro USA per l'Energia e attualmente Presidente della NTI - che ha raccolto le sue valutazioni e conclusioni in un rapporto presentato all'Assemblea della 50ª Conferenza Generale dell'AIEA. Nel rapporto si riconosce la grande complessità degli argomenti discussi e la necessità di ulteriori approfondimenti, per i quali si suggerisce un approccio articolato in due fasi: la prima, rivolta agli obiettivi di breve termine e la seconda, a quelli di più lungo periodo.

Per il *breve termine* l'attenzione dovrà essere rivolta alla individuazione di uno o più meccanismi multilaterali atti a garantire la continuità delle forniture di combustibile arricchito, muovendo dalle varie proposte già presentate e da altre che potranno essere avanzate entro tempi brevi.

Per il *medio-lungo termine* dovrà essere esplorata la possibilità di creare un sistema multilaterale di più ampia portata, integrato con meccanismi di mercato di natura commerciale e progettato per garantire adeguate forniture di combustibile e la gestione "responsabile" dei rifiuti radioattivi, fino al loro smaltimento. Si dovrà anche studiare la possibilità di estendere le garanzie di fornitura alle tecnologie e ai componenti dei reattori nucleari; di costruire e gestire tutti i nuovi impianti di arricchimento e di ritrattamento in un contesto multilaterale e, infine, di convertire anche

gli impianti esistenti da imprese nazionali a iniziative multinazionali⁹.

Il processo descritto si presenta lungo e di non facile attuazione. Le proposte dovranno essere elaborate dal Segretariato dell'AIEA in consultazione con gli Stati Membri, con gli esperti del settore e con l'industria, e sottoposte al Consiglio dei Governatori dell'Agenzia, probabilmente entro la fine del 2007.

I nuovi approcci multilaterali dovranno raccogliere un ampio consenso degli Stati membri per essere resi operativi. E' difficile, a questo stadio, pronunciarsi sulla effettiva possibilità di conseguire tale consenso, ma occorre realisticamente riconoscere che le premesse non sono particolarmente incoraggianti. Al Convegno, la voce dei paesi utilizzatori è stata praticamente assente. Solo Brasile e Sud Africa hanno ribadito, attraverso gli interventi di José Goldemberg, Segretario dello Stato di San Paolo, e del ministro dell'Energia del Sud Africa, Buyelwa Sonjica, la ben nota posizione, fatta propria anche dai paesi non allineati, di non volere in alcun modo rinunciare ai diritti sanciti dall'articolo IV del TNP e, quindi, di non accettare sul piano di principio qualsivoglia limitazione allo sviluppo, alla libera circolazione e diffusione delle tecnologie nucleari e, in particolare, di quelle del ciclo del combustibile.

In effetti, la distanza che separa i paesi detentori delle tecnologie del ciclo dai paesi utilizzatori è ancora elevata. L'attuale clima di sospetto reciproco - accentuatosi dopo il fallimento, nel 2005, della Conferenza di Riesame del Trattato di Non Proliferazione nucleare (come ha ricordato l'ex primo ministro olandese Ruud Lubbers presente al Convegno) - favorisce la propensione dei secondi all'acquisizione, o allo sviluppo "autarchico", delle tecnologie sensibili¹⁰.

In conclusione, la situazione potrà evolvere in senso positivo se si tornerà al ta-



volò del negoziato multilaterale e si darà nuovo slancio e vigore al TNP; se i programmi per il disarmo nucleare segneranno nuovi e significativi progressi; se ripartiranno a Ginevra i negoziati sul *Fissile Material Cut-off Treaty*. Se queste condizioni non si verificheranno, difficilmente le nuove politiche per la gestione del ciclo del combustibile nucleare potranno affermarsi, almeno nel breve termine.

(*) Consulente del Ministero dell'Economia e delle Finanze ed Esperto del Ministero degli Affari Esteri

(**) ENEA - Consigliere del Presidente per gli Affari Internazionali

Per informazioni
raffaele.disapia@sede.enea.it

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il Ministro Filippo Formica, Responsabile dell'Ufficio V (Disarmo e Controllo degli Armamenti – Non Proliferazione) della Direzione Generale per gli Affari Politici Multilaterali e i Diritti Umani del Ministero degli Affari Esteri, per aver discusso e commentato il manoscritto ed aver fornito proficui suggerimenti in merito ai temi trattati nell'articolo.

Note

1. Al TNP aderiscono tutti i paesi della Carta delle Nazioni Unite con l'esclusione di India, Pakistan, Israele e Corea del Nord; quest'ultimo paese ha annunciato il ritiro dal Trattato nel 2003.
2. I 5 paesi nucleari militari riconosciuti dal TNP sono: Stati Uniti, Unione Sovietica (oggi Russia), Regno Unito, Francia e Cina; essi sono anche i membri permanenti del Consiglio di Sicurezza delle Nazioni Unite.
3. Nel febbraio 2007 la Corea del Nord è tornata al tavolo del negoziato (con Cina, Stati Uniti, Giappone, Corea del Sud e Russia) ed ha accettato di arrestare i propri programmi nucleari sottoponendo tutti gli impianti ai controlli di salvaguardia dell'Agenzia atomica dell'ONU (AIEA).
4. Il Protocollo Aggiuntivo stabilisce nuove modalità di intervento per i controlli dell'AIEA che li rendono più penetranti e affidabili delle preesistenti "Comprehensive Safeguards" attualmente previste dagli Accordi di attuazione del TNP. Il Protocollo Aggiuntivo, negoziato nel 1997, è stato adottato finora da 78 paesi, fra i quali l'Italia e l'Unione Europea.
5. Il gruppo di esperti ha consegnato il 22 febbraio 2005 al Direttore Generale dell'AIEA un rapporto dal titolo "Multilateral Approaches to the Nuclear Fuel Cycle" distribuito come documento AIEA, INFCIRC/640.
6. *Charitable Organization*, impegnata a favorire la riduzione delle armi nucleari, chimiche e biologiche.
7. Gli USA hanno dichiarato che la loro offerta di mettere a disposizione della comunità internazionale 17,5 tonnellate di uranio altamente arricchito di provenienza militare, il cui valore commerciale è ben superiore a 100 milioni di dollari, non potrebbe rientrare in questa iniziativa in quanto il materiale resterebbe di proprietà del Governo americano.
8. *URENCO*, impresa gestita congiuntamente da Germania, Regno Unito e Paesi Bassi; *EURO-DIF*, impresa multinazionale (di cui fa parte anche l'Italia) con gli stabilimenti in Francia; *The U.S. Enrichment Corporation*, impresa americana che rifornisce essenzialmente il mercato nazionale e, infine, la russa *TENEX*.
9. Il Direttore Generale dell'AIEA, in un intervento alla Università di Tsinghua, in Cina, il 5 dicembre 2006, ha affermato: "The second step would seek to bring any new operations for uranium enrichment and plutonium separation under multinational control. Over time, these multinational controls would also be extended to facilities that already exist - to ensure that all countries are treated equally in terms of their nuclear capabilities, and to de-link these fuel cycle operations from possible use as a strategic deterrent".
10. Si veda l'articolo "Lining up to enrich uranium" di Ferguson e Porter, pubblicato sull'*International Herald Tribune* del 12 settembre 2006.

Il governo e la sicurezza delle grandi reti tecnologiche ed energetiche

Sandro Bologna

con la collaborazione di:

C. Balducelli, E. Ciancamerla,
G. Di Costanzo, G. Dipoppa,
A. M. Gadomski, L. Lavallo,
M. Minichino, V. Rosato, G. Vicoli

Le crescenti complessità e vulnerabilità delle grandi reti tecnologiche richiedono con urgenza di metodologie, in grado di comprenderne a priori le interdipendenze, e di tecnologie, che ne valutino il grado di sicurezza e le possibili conseguenze di ogni azione. L'ENEA, sulla scia di quanto già fatto negli ultimi anni, si propone di sviluppare un sistema organico di tecnologie ICT, modelli e sistemi di supporto alle decisioni in grado di fornire, ai gestori delle grandi infrastrutture, informazioni sui possibili scenari di evoluzione

Security of major technological and energy networks

The growing complexity and vulnerability of the major technological networks require methodologies and technologies for evaluating their security and the possible consequences of any action. ENEA is developing an organic system of ICT technologies, methodologies, models and decision-support systems that can give major infrastructure operators information on possible future scenarios



Il buon funzionamento del Sistema Paese è strettamente legato alla disponibilità, affidabilità e sicurezza di molte infrastrutture tecnologiche, comunemente note come Infrastrutture Critiche (IC) (box a pag. 15). La mancata funzionalità di tali infrastrutture ha un impatto enorme sulla vita dei cittadini e può produrre ingenti danni economici.

Le Infrastrutture Critiche stanno subendo una trasformazione epocale, sulla scia di nuovi indirizzi di politica economica e per l'avvento di nuovi strumenti tecnologici. Tali modificazioni hanno, tuttavia, riflessi rilevanti sul piano della tecnologia e della gestione delle Infrastrutture medesime. Da oltre un decennio la gestione delle grandi infrastrutture tecnologiche, a livello nazionale e internazionale, ha subito importanti trasformazioni, indotte dai processi di liberalizzazione e globalizzazione dei mercati, che hanno modificato significativamente il ruolo dei gestori, con importanti ripercussioni sia a livello economico che so-



Infrastrutture Critiche

Per Infrastrutture Critiche si designa quell'insieme di infrastrutture che garantiscono il benessere sociale ed economico di una nazione. Sebbene non esista una classificazione unica, la maggioranza delle nazioni individuano quali Infrastrutture Critiche:

- infrastrutture per la produzione, trasporto e distribuzione di energia (elettrica, gas ecc.);
- infrastrutture di telecomunicazioni;
- infrastrutture di trasporto (aereo, viario, ferroviario, navale ecc.);
- infrastrutture per la raccolta, distribuzione, trattamento e smaltimento delle acque superficiali;
- circuiti bancari e finanziari;
- sistema sanitario;
- servizi di emergenza;
- filiera alimentare.

Infrastrutture Critiche Interdipendenti.

Il mutato contesto sociale, economico e tecnologico ha indotto un profondo mutamento nelle architetture delle diverse infrastrutture. Infatti, se fino alla fine degli anni 90 esse erano costituite da sistemi autonomi verticalmente integrati e operati da gestori unici (operanti generalmente in regime di monopolio), l'attuale scenario è caratterizzato dalla moltiplicazione del numero di operatori e dall'utilizzo promiscuo delle diverse risorse al fine di erogare servizi innovativi migliorandone la qualità e riducendone i costi. Ciò ha comportato una crescita esponenziale nel numero di punti di contatto fra le diverse infrastrutture e l'insorgere di un grande numero di interdipendenze fra le stesse.

ciale. Il fenomeno che ha maggiormente inciso sulla struttura dei sistemi è il passaggio da una gestione verticalmente integrata (quasi sempre a forte partecipazione statale) ad una gestione liberalizzata, con le diverse componenti delle infrastrutture (livello fisico, livello di gestione, livello dei servizi) affidate a società tra loro indipendenti, con lo scopo di favorire la concorrenza e aumentare la qualità dei servizi.

Lo scenario delle reti energetiche, inoltre, già di per sé complesso, è reso ulteriormente critico dalle attuali spinte verso lo sviluppo di sistemi per la Generazione Distribuita (GD) e della Micro Generazione (MG), visti come strumento per aumentare la sicurezza dell'approvvigionamento energetico. La diffusione di questi nuovi paradig-

mi, tuttavia, rende ancora più necessaria la soluzione delle problematiche di gestione e di governo delle reti di trasmissione e distribuzione dell'energia elettrica. Essi comportano una diversa modalità di utilizzo delle reti, progettate e gestite per un utilizzo di natura prevalentemente passiva. Un incremento significativo della penetrazione di GD e di MG comporterebbe l'esigenza di una radicale evoluzione delle reti di distribuzione, basata sull'individuazione di logiche di controllo efficienti e di nuovi sistemi di comunicazione, di modifiche ai sistemi di protezione e alle modalità operative e progettuali delle reti gestite dalle imprese di distribuzione.

I processi di trasformazione descritti, oltre a generare effetti positivi (riduzione dei costi dei servizi e migliore



Scienza della Complessità

Negli ultimi anni è avvenuta una naturale convergenza tra svariate aree applicative; interi domini delle scienze, inizialmente distinti e scarsamente comunicanti, hanno iniziato a integrarsi fortemente, spesso a tal punto da essere assimilabili a un unico corpo di metodologie, trasversali e multidisciplinari. Questo trend è il frutto di un nuovo paradigma, indicato come Scienza della Complessità, con il quale gli elementi di similitudini e regolarità che emergono all'interno dei diversi modelli sono percepiti come il segno di un'unitarietà profonda che esula dall'origine dei modelli stessi, emergendo da motivazioni più fondamentali.

Questo comporta che le "vecchie" discipline scientifiche tendono a scomparire per fare posto a nuove ontologie che classificano ambiti storicamente lontani entro nuove classi. Un caso tra tutti è la Biologia che, dopo una parentesi in ambiti riduzionistici come la "Biologia Molecolare", la "Genomica e Proteomica", la "Biologia Computazionale", ha riunito molti di questi ambiti entro la "Biologia Sistemica" all'interno della quale gli oggetti biologici vengono analizzati alla luce della Teoria dei Sistemi Complessi e integrati con strumenti mutuati da altre realtà (l'ingegneria, l'informatica, la matematica e la fisica). Lo studio delle Grandi Reti Tecnologiche e delle Infrastrutture Critiche potrà trarre beneficio dall'applicazione dei risultati prodotti da questa nuova comunità scientifica.

gestione degli approvvigionamenti), hanno enormemente aumentato la complessità delle infrastrutture introducendo nuove e pericolose vulnerabilità. A causa dello stretto accoppiamento fra infrastrutture differenti e del delicato interscambio di prodotti e servizi, un guasto o un malfunzionamento che si produce su una di esse può propagarsi facilmente, amplificando le conseguenze negative e influenzando utenti collocati anche a distanze notevoli dal luogo in cui si è verificato il guasto. Lo scenario è ulteriormente complicato dal fatto che, per motivi di concorrenza e per la natura dei servizi erogati, le reti sono gestite da gestori diversi con interessi diversi.

L'impatto e la complessità degli effetti che questo scenario è in grado di produrre sono risultati chiaramente evidenti analizzando recenti eventi di disservizio delle grandi infrastrutture (blackout elettrici, informatici, telefonici, trasporti, energetici ecc.). Essi hanno mostrato l'estrema criticità

delle grandi reti tecnologiche, in particolare quelle energetiche e di telecomunicazione, e la loro profonda interconnessione con le altre reti, tecnologiche e di servizi. Tali disservizi hanno interessato porzioni considerevoli dei sistemi, in apparenza molto differenti tra loro sia in termini di strutture che di modalità di gestione. In tutti i casi essi hanno messo in evidenza carenze strutturali e problemi di gestione e di interdipendenza che si riscontrano con preoccupante ricorrenza.

È necessario, dunque, operare sia per la soluzione delle carenze strutturali, sia per migliorare la qualità della gestione e aumentare il controllo degli effetti legati alle interdipendenze tra le reti. Quest'ultimo compito può essere efficacemente svolto utilizzando le più avanzate tecnologie ICT (*Information and Communication Technologies*), in grado di consentire un'efficace analisi del livello di sicurezza e la valutazione, in tempo reale, dei possibili scenari conseguenti ad eventi di-



sastrosi, fornendo un importante strumento di supporto alle decisioni per gli operatori coinvolti nella gestione delle crisi.

Per fronteggiare le nuove problematiche indotte dall'avvento di politiche e tecnologie avanzate, occorre essere pronti a ripensare, anche in modo radicale, gli strumenti tecnologici e le stesse modalità operative, per rendere le Infrastrutture Tecnologiche affidabili e sicure, da un lato per aumentare l'affidabilità e ridurre la vulnerabilità, dall'altro per garantirne un governo "a prova d'errore".

Nell'ottobre 2006 l'ENEA ha avviato una serie di nuovi progetti multidisciplinari e interdipartimentali finalizzati a contribuire alla risoluzione di alcune delle maggiori problematiche nei campi dell'energia e dell'ambiente; tra questi, il Progetto per il Governo e la Sicurezza delle Grandi Reti Tecnologiche ed Energetiche. Scopo del Progetto è quello di produrre, con un approccio fortemente interdisciplinare, nuove conoscenze e realizzare nuovi strumenti per rendere possibile l'attuazione dei cambiamenti epocali sopradescritti e ridurre i rischi connessi. L'obiettivo viene perseguito attraverso le seguenti azioni:

- l'integrazione di nuovi strumenti concettuali tipici della Scienza della Complessità (box a pag. 16) con l'analisi dei meccanismi di difesa dei sistemi viventi per la realizzazione di una nuova generazione di strumenti tecnologici di auto difesa dai nuovi tipi di vulnerabilità sopra descritti;
- lo sviluppo di nuovi strumenti per l'analisi dell'affidabilità delle grandi reti tecnologiche;
- lo sviluppo di tecnologie per l'ottimizzazione e la riconfigurazione di strut-

ture e servizi per garantirne l'incremento dell'efficienza;

- lo sviluppo di tecnologie per la riduzione delle vulnerabilità intrinseche delle infrastrutture, con particolare riferimento ai sistemi di governo;
- l'analisi e il controllo delle interdipendenze tra infrastrutture e la predizione degli effetti indotti da tali interdipendenze;
- lo studio dei problemi organizzativi e l'analisi della componente umana della catena di controllo e supervisione delle infrastrutture.

Il contributo della "Complexity Science"

Negli ultimi anni è avvenuta una naturale convergenza tra varie aree disciplinari; interi domini delle scienze, inizialmente distinti e scarsamente comunicanti, hanno iniziato ad integrarsi fortemente, spesso al punto da essere assimilabili ad un unico corpo di metodologie, trasversali e interdisciplinari, finalizzate ad un reale avanzamento della conoscenza (*Complexity Science*). Questo *trend* è il frutto di un nuovo paradigma della scienza che inizia a trovare interazioni e regolarità all'interno di modelli con cui essa cerca di spiegare il reale. Questa regolarità non è percepita come una casualità ma, piuttosto, come il segno di una unitarietà profonda che esula dall'origine dei modelli ma emerge da motivazioni più fondamentali. I sistemi che si auto-assemblano (da quelli viventi a quelli tecnologici) sembrano percepire fortemente le istanze di strutturarsi in maniera "robusta" (riducendo per quanto possibile l'effetto di errori o malfunzionamenti locali sul comportamento globale del sistema) e garantirsi un'efficienza di funzionamento. Queste istanze deter-

minano la "forza motrice" della loro evoluzione e della loro crescita.

L'integrazione in atto comprende aree disciplinari un tempo ritenute e trattate come totalmente disgiunte, sia nelle finalità che nei metodi. L'avvento di una serie di interessanti osservazioni, fatte nell'ultimo decennio, relative alla sostanziale equivalenza della struttura di una serie di sistemi complessi di svariata natura (dalle reti di interazioni proteiche cellulari a quelle dei rapporti sociali, dalla rete mondiale del *web* alle reti linguistiche delle principali lingue mondiali) ha evidenziato che, al raggiungimento di una data soglia di complessità, corrisponde l'insorgenza di una serie di comportamenti che accomunano, in maniera stupefacente, sistemi di diversissime origini. La complessità sembra essere, dunque, una proprietà al cui sviluppo si associ non il caos ma piuttosto una necessità all'ordine che, sebbene non in maniera diretta, consenta la realizzazione di metafore differenti dello stesso disegno funzionale verso il quale tutti i sistemi (sia quelli viventi che quelli tecnologici) vengono ineludibilmente spinti.

La comprensione delle ragioni profonde e delle modalità che spingono i sistemi tecnologici complessi ad autodirigersi spontaneamente verso configurazioni di grande efficienza appare come la chiave di volta per consentirne un reale controllo, in grado di aprire la possibilità di prevederne l'evoluzione. Le infrastrutture tecnologiche complesse (si pensi alle reti di comunicazione, alle reti economiche e finanziarie legate all'intricata connessione tra i vari mercati e alla crescente globalizzazione, alle reti di approvvigionamento, di trasmissione e di distribuzione dei prodotti energetici ed allo stretto legame di questi ultimi con i mercati

delle materie prime) giocano un ruolo ormai vitale nella vita e nello sviluppo delle nazioni. In questo senso sono divenute elementi nevralgici la cui potenziale vulnerabilità può avere ripercussioni difficilmente quantificabili sulle società.

In questo scenario, accanto all'uso di paradigmi conoscitivi e strumenti tecnologici convenzionali, si stanno affermando paradigmi e metodologie trasversali che tentano, sullo stesso piano, di costruire modelli di Sistemi Complessi di differente natura, trovando importanti regolarità e similitudini.

I lavori pionieristici di Strogatz e Watts [1] verso la fine degli anni novanta e quelli di Barabasi [2] agli inizi del 2000 hanno evidenziato che in molte situazioni la schematizzazione delle reti complesse mediante grafi *random* (casuali) non è aderente ai dati empirici. In particolare i lavori di Barabasi hanno evidenziato che in molte reti il numero delle connessioni per nodo anziché seguire una legge di distribuzione di tipo poissoniana (come è prevedibile in un grafo di tipo casuale) ha una distribuzione che varia con legge di potenza (figura 1). Questi grafi hanno pertanto una struttura poco "democratica": alcuni nodi, genericamente indicati come *hub*, hanno un numero di connessioni decisamente superiori agli altri e per tale motivo essi rivestono un ruolo fondamentale nella topologia della rete stessa [2].

Per tali sistemi, denominati sistemi *Scale Free*, si può supporre che le caratteristiche topologiche della rete derivino direttamente dalle leggi sottese alla loro evoluzione [3]. Infatti, è possibile dimostrare che una qualunque rete costituita per aggregazione successiva di nuovi nodi con una legge di ag-



gregazione preferenziale (cioè tale che il nuovo nodo ha maggiori probabilità di essere connesso con quei nodi che già risultano molto ben connessi) presenta appunto le proprietà degli *Scale Free*.

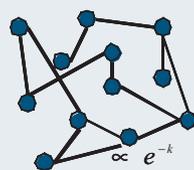
Le caratteristiche sottese ai sistemi *Scale-Free* fanno sì che esse risultino particolarmente robuste rispetto a guasti casuali: il numero di nodi che è necessario eliminare prima che (statisticamente) il grafo perda la sua connessione è decisamente superiore rispetto a quanto accade nel caso di un grafo casuale. Il prezzo da pagare è un'elevata fragilità rispetto all'eliminazione selettiva dei nodi più importanti della rete. Se l'ordine di eliminazione è proporzionale al numero dei collegamenti del singolo nodo (grado del nodo), un grafo *Scale-Free* diviene disconnesso eliminando un numero di nodi inferiore rispetto ad un grafo casuale [4].

Traducendo questo su un piano più operativo si ha che un grafo *Scale-Free* è più robusto rispetto a guasti accidentali (eventi naturali o comunque alea-

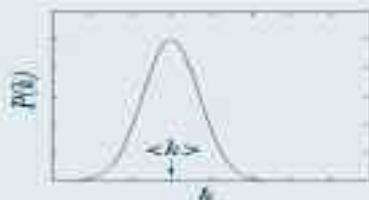
tori) ma è decisamente più vulnerabile ad attacchi mirati (potremmo dire terroristici), ovvero ad azioni che consciamente mirano a ridurre l'efficienza della rete e che pertanto abbiano la capacità/possibilità di colpire nei punti più vulnerabili.

Un altro aspetto riguarda la diffusione delle "epidemie": una rete (tecnologica, sociale) *Scale-Free* non evidenzia il classico effetto a soglia che caratterizza la dinamica del contagio dei modelli epidemiologici classici su reti a struttura *random*. Questo comporta che un'epidemia può diffondersi all'interno della rete anche se il numero degli elementi infetti iniziali è una frazione estremamente limitata rispetto al numero totale di elementi costituenti la rete. Al limite anche un sol nodo (come si evidenzia, ad esempio, con i virus su Internet) può innescare una rapida diffusione dell'epidemia in quanto gli è sufficiente arrivare ad infettare uno degli *hub*. Ciò impone la necessità di prevedere strategie differenti per contrastare la diffusione di tali "epidemie" [5].

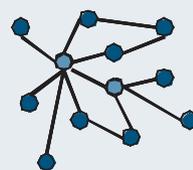
(a) Random Graph



Poisson distribution



(b) Scale-Free Graph



Power-law distribution

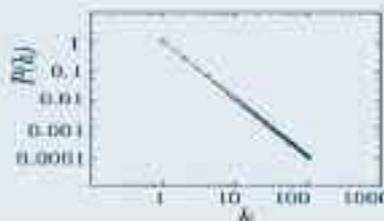


Figura 1

In un grafo random il numero di link (k) per nodo ha una distribuzione poissoniana ($\propto e^{-k}$) centrata intorno al valor medio $\langle k \rangle$. In un grafo *scale-free* vi è una distribuzione meno uniforme che varia con legge di potenza ($\propto k^{-\gamma}$): molti nodi hanno pochissimi *link* e solo alcuni sono connessi con un grandissimo numero di *link*

Sebbene siano ancora in gran parte da studiare e comprendere le implicazioni che questi risultati hanno sulle strategie di difesa e di sicurezza, è certamente evidente che strategie adottate sulla base di presupposti che fanno riferimento a modelli topologici casuali potrebbero risultare non efficaci.

In particolare un aspetto critico riguarda, come evidenziato, l'ipotizzata vulnerabilità di questi sistemi nei confronti di azioni mirate, tese cioè a colpire gli *hub* principali della rete. Infatti, considerazioni circa gli effetti che azioni mirate contro tali elementi potrebbero avere sulla popolazione, sia in termini di riduzione di servizi, sia dal punto di vista mediatico, potrebbero indurre soggetti interessati a creare situazioni destabilizzanti, a focalizzare la loro attenzione su questi obiettivi.

Tali considerazioni fanno comprendere come anche l'aspetto della topologia delle singole infrastrutture giochi un ruolo di rilievo che deve essere tenuto in considerazione allorché vengono progettate nuove reti. Alcune tipologie di reti (ad esempio la rete elettrica e la rete stradale), tuttavia,

hanno una struttura "intermedia" che sfugge alle classificazioni precedentemente descritte. In questi casi, la loro vulnerabilità topologica deve essere definita caso per caso (in figura 2 sono riportate due reti, una a struttura "intermedia", a sinistra, e l'altra a struttura *Scale-Free*, a destra).

Le competenze presenti in ENEA e gli ambiti progettuali nei quali esse sono applicate, hanno consentito il raggiungimento di una serie di importanti traguardi e la messa a punto di metodiche di rilievo:

- L'ENEA sta realizzando un *database*, unico nel suo genere, contenente la struttura topologica (i grafi) delle principali Infrastrutture Critiche Nazionali (ICN). Alcune di queste strutture sono caratterizzate da dati che consentono di produrre modelli funzionali del loro comportamento;
- L'ENEA dispone di una *suite* di codici per l'analisi di tali strutture, in particolare delle proprietà topologiche e della vulnerabilità strutturale e di codici per la simulazione del comportamento di tali reti [6]. Tali codici sono stati opportunamente ingegnerizzati su tecnologia *web* e resi disponibili alla comunità scientifica;



Figura 2
Grafici rappresentanti: la rete italiana di trasmissione elettrica ad alta tensione (380 kV), a sinistra; la rete internet per la ricerca (GARR), a destra



- una collaudata collaborazione tra il settore che si occupa di modellistica e quello delle biotecnologie dell'ENEA ha consentito l'applicazione a sistemi biologici di metodiche sviluppate nell'ambito tecnologico. Il flusso inverso di informazione (dal settore biologico a quello tecnologico) è potenzialmente foriero di risultati ancora più interessanti. È infatti un ambito speculativo molto avanzato quello dello studio delle strategie di controllo e di ottimizzazione messe in opera da sistemi biologici (*ant strategies, swarm intelligence* ecc.) allo scopo di applicarle a sistemi tecnologici complessi (*bio-mimetic strategies*). L'interesse di questa classe di applicazioni è testimoniato anche dallo sviluppo di numerosi nuovi centri di ricerca multidisciplinare rivolti allo studio delle interconnessioni possibili tra sistemi biologici e sistemi tecnologici.

Affidabilità delle reti

L'analisi di affidabilità delle reti tecnologiche, comprensive dei sistemi di supervisione e controllo, è necessaria per valutare le loro funzionalità e la qualità dei servizi da esse erogati. L'obiettivo è di comprendere e, laddove possibile, prevenire le conseguenze di eventi avversi quali errori di progetto, guasti ai dispositivi che costituiscono le reti, attacchi informatici e guasti a cascata che, a seguito di un evento iniziale, si possono propagare a parti consistenti della stessa rete e, in caso di interconnessione tra reti, alle reti interconnesse. L'analisi di affidabilità, spesso richiesta e regolata da linee guida e da normative, ha il compito di dimostrare che le reti sono adatte al rilascio del servi-

zio richiesto secondo adeguati indicatori di rischio. Tale dimostrazione deve essere tanto più robusta e rigorosa quanto maggiore è il degrado della qualità del servizio conseguente all'accadimento di eventi avversi e quanto maggiore è l'essenzialità del servizio rilasciato. In ogni caso tutti gli esperti del settore concordano nel ritenere che nessun metodo da solo possa considerarsi sufficiente per valutare l'affidabilità. L'analisi di affidabilità si basa sulla individuazione, sulla costruzione e sulla valutazione di tutte le possibili evidenze che concorrono alla sua dimostrazione. Le evidenze possono essere costruite partendo da argomenti di tipo deterministico, qualitativo e probabilistico. Per ciascun argomento è necessario utilizzare metriche non sempre disponibili e di provata efficacia. Infatti, ai concetti più tradizionali di affidabilità, sicurezza, disponibilità e prestazioni si affiancano altri concetti come l'integrità delle informazioni contro le intrusioni (*security*) e la qualità di servizio in relazione al funzionamento degradato dei sistemi e alla diversa percezione della qualità da parte di utenti finali con caratteristiche ed esigenze eterogenee.

Le competenze presenti nell'Ente consentono di analizzare e comprendere l'affidabilità delle reti tecnologiche, in termini di suscettibilità alla degradazione e/o alla perdita dei servizi essenziali dovuta ad eventi avversi quali guasti semplici, guasti in cascata, intrusioni o malfunzionamenti e alla loro possibile coesistenza con elevate richieste di tali servizi. In questa nuova prospettiva di affidabilità dei servizi erogati dalle reti, l'ENEA affronta il problema attraverso la selezione, la predizione e la valutazione di indicatori di interconnessione, disponibili

tà, qualità di servizio e prestazioni. Lo studio è condotto mediante:

1. La formulazione di nuove teorie, l'utilizzo di codici di analisi e la costruzione di modelli funzionali alla predizione della affidabilità di reti. La ricerca segue le seguenti direttrici principali:

- metodologia esaustiva di analisi di reti basata sulla formulazione della funzione booleana di connettività della rete mediante BDD (Binary Decision Diagram). I BDD sono stati universalmente riconosciuti come lo strumento più potente per manipolare funzioni logiche. Partendo da una rete, espressa in forma grafica (attraverso regole convenzionali concordate) o in forma di matrice di incidenza si progettano algoritmi che costruiscono il BDD della funzione Booleana di connettività e calcolano l'affidabilità della rete;
- verifica formale automatica tramite *model checking*, per l'analisi funzionale ed esaustiva delle proprietà desiderate/indesiderate;
- formalismi stocastici di tipo combinatorio (per es. Alberi di guasto, *Reliability Block Diagrams*, Reti di Bayes) e basati sullo spazio degli stati (Catene di Markov, Reti di Petri);
- analisi delle proprietà della rete intesa come grafo, mediante metodi e strumenti basati sulla teoria dei grafi.

2. L'aggiornamento costante dell'ambiente di modellazione sviluppato dall'ENEA (SERENI: Sicurezza E affidabilità di RETi Nazionali e Infrastrutture). L'ambiente di modellazione consente di costruire modelli compositi, costituiti da una gerarchia di sotto modelli eterogenei basati sui formalismi oggetto della ricerca.

3. La valutazione dei limiti e delle potenzialità dell'ambiente di modellazione come strumento di supporto alle decisioni in tempo reale.

Tra gli ambiti progettuali nei quali queste competenze hanno trovato applicazione si cita il progetto EU-IST SAFETUNNEL. Il progetto ha portato alla realizzazione di un sistema prototipale di telecontrollo per il miglioramento della sicurezza nei tunnel alpini monotubo.

Le attività ENEA per l'analisi di affidabilità hanno permesso di predire la qualità di servizio della rete mobile del sistema SAFETUNNEL in termini di probabilità di blocco voce e probabilità di perdita dati [7].

Riconfigurazione e ottimizzazione funzionale

I vari episodi di *blackout* e conseguente disservizio delle grandi reti tecnologiche hanno mostrato la necessità di realizzare Sistemi di Supporto alle Decisioni aventi lo scopo di suggerire in tempo reale una strategia di riconfigurazione e ottimizzazione di reti tecnologiche complesse, nelle quali uno o più dei suoi componenti siano stati danneggiati per cause naturali, attacchi terroristici o guasti. Pur essendo già disponibili agli operatori procedure che prevedono l'attuazione di interventi di recupero in caso di perdita di parti della rete, nella maggior parte dei casi ci si trova di fronte a strumenti in grado di operare in un numero limitato di condizioni di guasto e di stati di funzionamento. C'è la necessità di generalizzare questo tipo di soluzione consentendo di generare una risposta rispetto all'insieme praticamente infinito di stati di funzionamento in cui la rete potreb-



be trovarsi. Questo può essere fatto tramite tecniche di ottimizzazione che vengono applicate come strumento di pianificazione per scenari di crisi. A tale scopo sembra particolarmente indicata l'applicazione di tecniche di Ricerca Operativa.

La Ricerca Operativa si connota come strumento trasversale ovunque vi siano da risolvere problemi di ottimizzazione: massimizzare i profitti (in senso lato), minimizzare le perdite (anche in questo caso in una più vasta accezione in dipendenza del dominio). In pratica la Ricerca Operativa è attinente all'utilizzazione di metodi scientifici nei processi decisionali, tra i quali si possono citare i metodi quantitativi, i modelli matematici, la simulazione ed altre tecniche analitiche per investigare ipotesi, facilitare la comprensione dei problemi e supportare il processo decisionale.

L'ENEA ha sviluppato, in collaborazione con altri soggetti industriali, un Progetto mirato alla realizzazione di un sistema esperto in grado di ottimizzare, sulla base di un approccio multicriteriale, le soluzioni inter-multimodali delle merci. SETRAM (Sistema Esperto con funzioni di simulazione delle modalità di TRASporto Merci e di selezione dei percorsi sulla base di multicriteria) è un sistema *software* dedicato al settore dei servizi logistici e dei trasporti di merci. La sua missione è supportare l'operatore logistico nelle diverse fasi decisionali per individuare le migliori soluzioni di organizzazione logistica e trasporto con un forte orientamento multimodale.

Componente principale della Piattaforma SETRAM è il Sistema Esperto, che opera sulla Progettazione e Programmazione delle modalità di trasporto e di selezione sulla base di multicriteria [8].

Parte integrante e nucleo del Sistema Esperto è il cosiddetto *Paradigma Risolutivo*, costituito da regole ed algoritmi che consentono di sottoporre il problema al Sistema Esperto e di ricevere da esso la soluzione. Questo particolare modello include sia strategie di controllo per dominare la complessità computazionale intrinseca di SETRAM, in particolare riducendo (quando possibile) lo spazio del problema di ottimizzazione, sia gli algoritmi di soluzione.

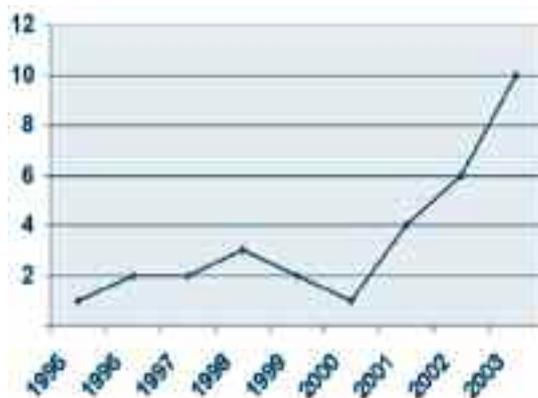
L'ENEA è coinvolto in attività di studio e ricerca di metodi di riconfigurazione e ottimizzazione utilizzando, a guisa di processi ausiliari non secondari, tecniche previsionali evolute.

I *Data Miner* (che al loro interno contengono approcci molto variegati per il *clustering* e la classificazione come *k-means*, *Neural Networks*, *Support Vector Machines* ecc.) assumono un ruolo rilevante nell'acquisizione di conoscenza da sistemi complessi e critici i cui archivi storici sono costituiti da grandi volumi di dati, tipicamente caratterizzati da fenomeni di non facile interpretazione che si ripetono in maniera ciclica.

Tecnologie per contrastare le vulnerabilità delle reti tecnologiche

I sistemi elettronici/informatici dedicati al controllo e alla supervisione delle reti di trasmissione e distribuzione dell'elettricità, del gas o dell'acqua, genericamente chiamati sistemi SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) sono oggi giorno più vulnerabili; anche essi, infatti, sempre a causa delle logiche di mercato che tendono a ridurre i costi dei servizi erogati, debbono aprirsi verso le grandi reti di comunicazione esterne, per

favorire ad esempio la manutenzione e la diagnostica a distanza dei componenti remoti.



Attacchi intermedi subiti dalle reti SCADA

Le ricerche sulla sicurezza dei sistemi SCADA condotte presso il BCIT (*British Columbia Institute of Technology*) indicano che l'utilizzo dei protocolli di comunicazione TCP/IP compatibili con le tecnologie basate su web stanno potenzialmente aprendo i sistemi di controllo e di automazione agli attacchi provenienti dagli *hacker*. Dal *Database* del BCIT degli incidenti e degli attacchi informatici subiti tra il 1995 ed il 2003 dai sistemi SCADA si ricava il grafico riportato sopra da cui si evince una forte crescita nel numero degli attacchi (ordinata) dopo il 2001, coincidente con una fase di globalizzazione e standardizzazione delle tecnologie.

Sembra difficile poter ridurre nel futuro il *trend* di diffusione e apertura dei sistemi tecnologici verso l'utilizzo delle grandi reti di telecomunicazione, in quanto ciò impedirebbe il contenimento dei costi di erogazione dei servizi; occorre perciò trovare soluzioni nuove e più efficaci per ridurre le vulnerabilità delle reti indotte da questi fenomeni emergenti.

Nel campo della protezione di reti altamente informatizzate, molte attività sono state intraprese a livello mondiale nel settore della rilevazione di virus ed attacchi di diversa natura, basandosi sul riconoscimento della "firma" degli attacchi stessi.

Con questo approccio tuttavia non è identificabile un nuovo tipo di attacco o un virus non ancora conosciuto.

Recentemente, anche per sistemi diagnostici di apparati industriali, la comunità scientifica ha intrapreso un nuovo filone di ricerca avente lo scopo di studiare come la "normalità di funzionamento" possa essere definita per un sistema, in modo tale che un allarme venga prodotto tutte le volte che il sistema si discosta in modo rilevante dal suo stato di funzionamento normale. Anche se questo approccio potrebbe a prima vista creare dei problemi per la generazione di "falsi allarmi", esso ha il grande vantaggio di reagire e dare una indicazione anche in presenza di guasti ed attacchi nuovi e non ancora conosciuti.

Le anomalie o deviazioni dal livello di normale funzionamento vengono diagnosticate mediante varie metodologie provenienti dal mondo del *soft computing* o della statistica quali le reti neurali, le tecniche di "data mining", di "case base reasoning" ed altre simili. Esse tuttavia, pur segnalando la presenza di un'anomalia, difficilmente riescono a darne una "interpretazione" ossia a capire la vera origine del guasto.

L'interpretazione, o la classificazione, di un fenomeno anomalo non è generalmente realizzabile tramite l'individuazione di una singola anomalia. Per ottenere ciò occorre "correlare" la presenza (o l'assenza) di "più eventi" rispetto ad una scala temporale e/o spaziale. Questo tipo di cor-

relazione risulta ancora più importante per le infrastrutture complesse distribuite su più aree geografiche in presenza di trasmissioni di dati o flussi di materia da un punto all'altro; qui la correlazione può evidenziare anomalie relative alla correttezza operativa dei flussi. Ancora più importante sembrerebbe operare delle correlazioni spazio-temporali su infrastrutture diverse ma interdipendenti; in questo caso la correlazione potrebbe individuare fenomeni di propagazione del guasto da una infrastruttura all'altra.

L'individuazione rapida della localizzazione delle anomalie, su infrastrutture altamente informatizzate, consente l'attuazione di strategie di "self-healing", ossia di procedure capaci di rimuovere dalla rete i nodi soggetti a guasto ("infettati") sostituendoli eventualmente con nodi di riserva.

Nell'ambito del Progetto EU-IST SAFEGUARD (*Intelligent Agents Organisation to Enhance Dependability and Survivability of Large Complex Criti-*

cal Infrastructures) si è realizzato presso i laboratori ENEA un sistema *software* di emulazione di una rete di trasporto di energia elettrica, basato su un *simulatore della rete elettrica* ed un *emulatore del relativo sistema di supervisione e controllo (SCADA)*. Questa piattaforma può essere adoperata come un ambiente per il test di componenti *software* di controllo e protezione a fronte di guasti o di natura accidentale o provocati da attacchi informatici deliberati.

Come illustrato nella figura 3, questo sistema di emulazione e di test è composto da varie *workstation*, che comunicano tramite rete locale, ognuna specializzata in differenti funzioni, e in particolare:

- un simulatore della rete elettrica, che permette di configurare reti elettriche, effettuare il calcolo dei flussi di potenza sulle linee in funzione del livello di potenza prodotto dai generatori e dagli assorbimenti dovuti ai carichi di distribuzione cui la rete è connessa;

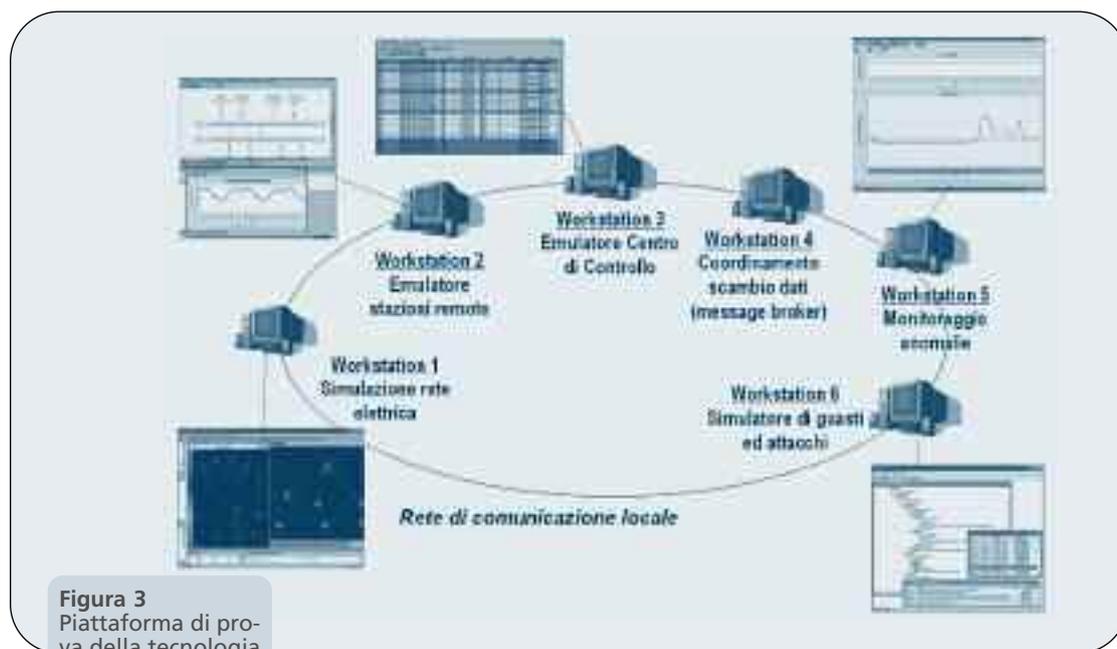


Figura 3
Piattaforma di prova della tecnologia SAFEGUARD

- un emulatore delle stazioni remote di acquisizione dei dati di rete connesso al simulatore precedente da cui vengono acquisiti i dati con frequenza di scansione "faster than real time";
- un emulatore del Centro di Controllo ove si concentrano i dati acquisiti dalle stazioni remote, contenente un *Data Base* che funge da "archivio" degli eventi, che permette di sperimentare tecniche di correlazione spaziale e temporale fra anomalie a fini diagnostici e predittivi;
- una serie di pannelli grafici per il monitoraggio e la visualizzazione delle anomalie interfacciati al predetto *Database*;
- un sistema di produzione di attacchi e guasti simulati che possono essere attivati per verificare il comportamento della rete in caso di guasto e testare soluzioni software di protezione e controllo.

Sul sistema sono stati sperimentati componenti software in grado di riconoscere anomalie causate sia da attacchi informatici che da guasti a livello fisico della rete elettrica [9].

Nell'ambito del progetto EU-IST IRRIS (Integrated Risk Reduction of Information-based Infrastructure Systems) l'ENEA ha proposto lo sviluppo e la sperimentazione di soluzioni informatiche, basate su componenti software distribuiti, e aventi lo scopo di attuare lo scambio e la messa in comune fra le differenti infrastrutture di quelle informazioni che possono contribuire ad un miglior coordinamento fra i vari operatori nelle fasi di erogazione/scambio dei servizi essenziali.

Il problema delle interdipendenze: proposte di soluzioni modellistiche e tecnologiche

Nell'articolo pionieristico di Rinaldi, Peerenboom e Kelly [10] si identificano

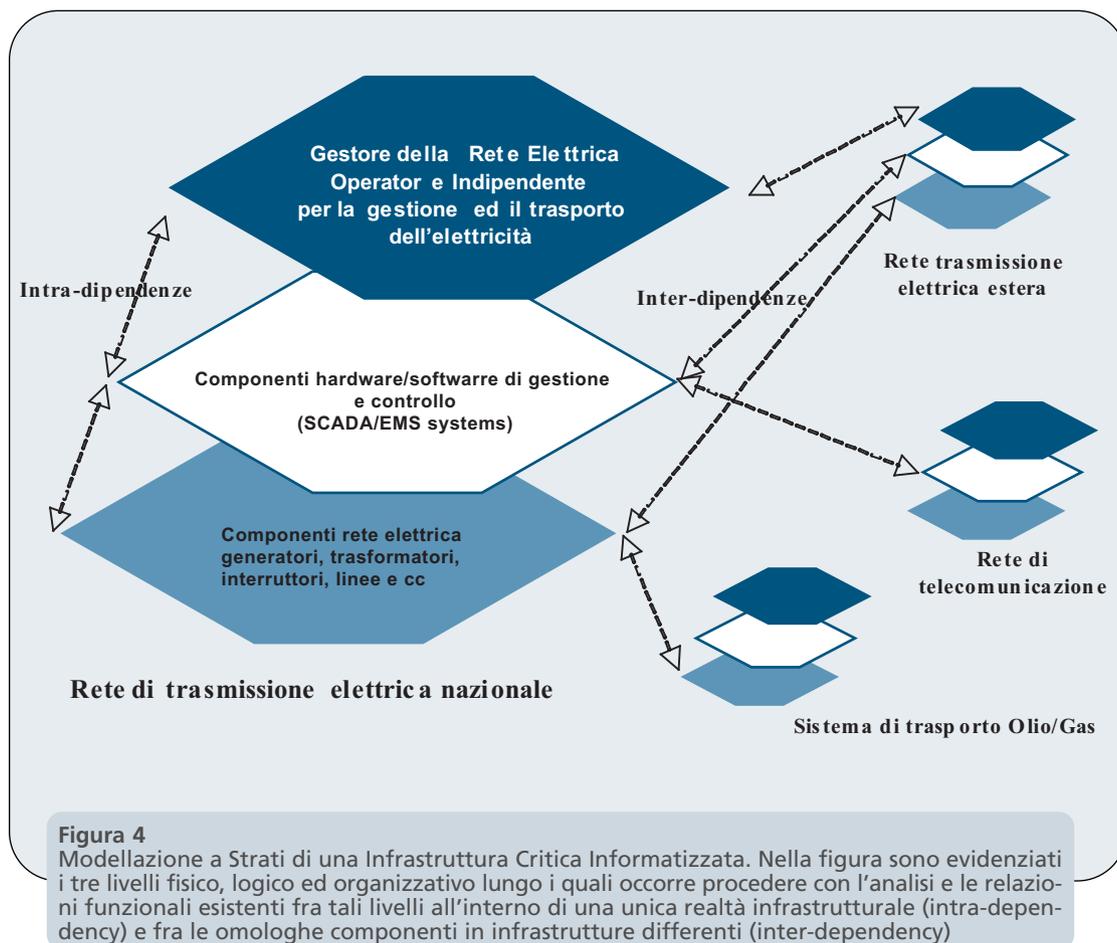
quattro tipi di interdipendenza tra infrastrutture.

Fisica: due infrastrutture sono *fisicamente interdipendenti* se lo stato di una è dipendente dall'*output* materiale (fisico) dell'altra. Ad esempio una centrale elettrica a carbone e la sua rete ferroviaria di adduzione mostrano un'interdipendenza fisica, giacché ognuno dei due sistemi dipende dall'*output* dell'altro: la centrale ha bisogno della rete ferroviaria per la fornitura del combustibile e dei componenti di ricambio dei generatori, mentre la rete ferroviaria necessita dell'energia elettrica generata dalla centrale per il proprio funzionamento e controllo.

Cyber: un'infrastruttura ha una *cyber-interdipendenza* se il suo stato dipende dalle informazioni trasmesse attraverso il *cyberspace*.

Geografica: due o più infrastrutture sono *geograficamente interdipendenti* se un evento ambientale locale può provocare cambiamenti nello stato delle altre infrastrutture. Questo accade quando le varie infrastrutture condividono lo stesso luogo fisico, quale un ponte, una stanza ecc., in tal modo un evento naturale o doloso può provocare un guasto comune alle varie infrastrutture.

Logica: due infrastrutture sono logicamente interdipendenti se lo stato di ognuna di loro dipende dallo stato dell'altra tramite un meccanismo che non è nessuno di quelli in precedenza esplicitati. Questa tipologia di interdipendenza, tipicamente legato a scambi di servizi tra infrastrutture, consente di modellare quei legami connessi con fenomeni socio-economici, cultu-



rali o indotti da vincoli normativi e legislativi. In genere le decisioni umane sono predominanti nella creazione di tale tipo di interdipendenza.

Si noti che, a differenza delle altre cause di interdipendenza, la *Cyber* interdipendenza è una proprietà assoluta e non relativa e ciò a sottolineare che questo tipo di interazione comporta un'estesa interdipendenza sostanzialmente con qualunque altra infrastruttura che utilizza il *cyberspace*.

Per meglio comprendere il problema delle dipendenze tra i vari elementi di un'infrastruttura e delle interdipendenze tra infrastrutture diverse, è opportuno modellare ogni infrastruttura come un oggetto composto logicamen-

te da tre strati distinti: organizzativo, logico e fisico [11] (figura 4). All'interno di ciascuna infrastruttura ogni elemento interagisce, oltre che con gli elementi al suo livello, anche con elementi posti nei livelli contigui (tramite legami funzionali indicati come *intra-dependency*). Mentre gli omologhi strati delle diverse infrastrutture interagiscono fra loro attraverso legami indicati come *inter-dependency*.

Questa schematizzazione aiuta a evidenziare come l'attuale tendenza alla convergenza nelle telecomunicazioni comporti un aumento delle dipendenze fra le diverse infrastrutture.

Gli approcci descritti precedentemente aprono una visuale sul problema e sulla sua complessità. Essi, però, non

sono in grado di fornire gli elementi quantitativi necessari per poter definire l'impatto dei diversi eventi e che sono indispensabili per poter stabilire un ordine di priorità tra le azioni da intraprendere e sugli investimenti da privilegiare.

In questo contesto, a causa della rapida e profonda evoluzione che caratterizza la totalità delle Infrastrutture Critiche, l'utilizzo di strumenti di predizione basati sull'analisi delle serie storiche si rileva non sempre adeguato soprattutto per quel che riguarda la predizione delle conseguenze di eventi catastrofici o terroristici.

Occorre, pertanto, sviluppare modelli e strumenti simulativi in grado di fornire una predizione del comportamento del sistema in diversi scenari, non solo realmente accaduti ma anche ipotizzabili. La realizzazione di siffatti strumenti si scontra, però, con la complessità che caratterizza questi sistemi che sembra essere superiore alle capacità di modellazione degli at-

tuali strumenti metodologici e di calcolo.

Uno degli approcci più promettenti per l'analisi delle interdipendenze tra reti complesse è quello della così detta modellistica ad agenti (*Agent-based Modelling*, vedi box). L'idea fondamentale che guida questi modelli è che comportamenti complessi possano essere il frutto delle interazioni tra individui elementari e autonomi che operano sulla base di regole semplici e che nel loro interagire fanno "emergere" quelle caratteristiche comportamentali che caratterizzano il comportamento collettivo del sistema.

In altri termini, il comportamento di un insieme di infrastrutture interdipendenti è analizzato ricorrendo ad un approccio *bottom-up* che modella l'intero sistema partendo dalla conoscenza del comportamento (locale) dei singoli componenti e andando a studiare l'evoluzione complessiva del sistema quando queste componenti interagiscono fra loro.

Agente

Jennings e Wooldrige in "*Intelligent Agents: Theory and Practice*" definiscono "un agente come un componente informatico situato in un certo ambiente, capace di azioni autonome e flessibili al fine di ottenere i suoi obiettivi di progetto". In altri termini esso agisce senza il diretto intervento dell'uomo, cercando di raggiungere il suo obiettivo massimizzando una qualche funzione valutativa. L'agente è un'entità che opera in modo continuo ed autonomo per conto di altri utenti o agenti, ma anche in maniera indipendente da essi. A tal fine l'agente possiede capacità di comunicazione e di cooperazione con gli altri agenti eventualmente presenti nel sistema. Esso ha, inoltre, la capacità di interagire attivamente con l'ambiente, modificandone cioè le caratteristiche, piuttosto che subirlo passivamente. Un agente deve essere implementato partendo innanzitutto dalle proprietà che deve avere; alcune di esse sono caratteristiche di base, nel senso che si può chiamare "agente" solo un'applicazione che le rispetti. Questi attributi fondamentali sono:

- autonomia: capacità di essere continuamente attivo senza la necessità di eventi esterni attivatori;
- socialità: capacità di interagire con altri agenti;
- reattività: capacità di fornire risposte immediate ai cambiamenti ambientali che vengono percepiti;
- proattività: capacità di causare eventi non in modo esclusivamente reattivo, ma come se si seguisse un piano autonomo.



Ciò non è altro che la trasposizione degli approcci comportamentali biologici o sociologici che enfatizzano come l'aggregazione di individui di una determinata specie comporta l'insorgenza di comportamenti non "prevedibili" a partire dallo studio del singolo individuo isolato. L'adozione di strategie quali lo "Agent-based Modelling", sviluppate soprattutto nel campo della biocomplexità, è legato alla constatazione che le moderne infrastrutture tecnologiche hanno raggiunto una complessità paragonabile ai sistemi biologici rendendo necessario per il loro studio approcci propri di questo mondo.

L'idea di base è quindi quella di usare la simulazione ad agenti per scoprire interdipendenze sconosciute o emergenti. In ENEA è già stato sviluppato un primo ambiente di simulazione di questo tipo su cui sono state sperimentate le interdipendenze fra un'infrastruttura elettrica, una linea ferroviaria e un grande centro ospedaliero in funzione di eventi di *blackout* più o meno diffusi nello spazio e nel tempo. Algoritmi di ottimizzazione delle strategie di risposta durante gli eventi di *blackout* sono attualmente in fase di sviluppo [12].

Oltre all'approccio ad agenti, l'ENEA, in collaborazione con alcune università italiane, ha in corso la sperimentazione di altri approcci per lo studio delle interdipendenze.

In un primo approccio, basato sulla simulazione di sistemi dinamici interagenti (che modellano coppie di infrastrutture), si affronta il problema di valutare direttamente le dipendenze e le suscettibilità di una specifica infrastruttura rispetto alle altre [13].

Nel secondo, basato su un approccio macroscopico di tipo analitico (modello di Leontief), è possibile predire, sul-

la base di tassi di interdipendenze noti, l'impatto di guasti su specifiche infrastrutture sul comportamento delle altre, anche nell'ambito di scenari complessi [14].

Esso si basa sulla generalizzazione del modello economico proposto da Leontief per lo studio dell'equilibrio dei sistemi economici [15]. Così come il livello di produzioni di "semi lavorati" influenza le dinamiche di produzione dei beni finali, così il guasto di un elemento può influenzare, a causa delle interdipendenze, il livello di servizio in altre infrastrutture

Tutti questi metodi prenderanno corpo all'interno del Progetto PON-CRESCO¹ (Centro Computazionale di Ricerca sui Sistemi Complessi) nel quale, tra le altre cose, si intende realizzare un Centro di Simulazione sull'esempio del *National Infrastructure Simulation and Analysis Center* (NISAC)², azione congiunta Los Alamos National Laboratory e Sandia National Laboratory, USA. Il Centro consentirà un'analisi delle interdipendenze tra più reti con un approccio di sistema-di-sistemi e, in particolare, favorirà l'analisi di quegli aspetti di vulnerabilità indotti dalla presenza delle interdipendenze nonché l'impatto che i diversi malfunzionamenti potrebbero avere e lo studio delle modalità con cui gli stessi si propagano attraverso le diverse infrastrutture. Tali tipi di analisi sono di interesse sia nei confronti dell'attuale situazione infrastrutturale, sia in relazione ai possibili sviluppi della stessa, al fine di prevedere le possibili conseguenze indotte sull'intero sistema infrastrutturale del Paese, specificamente per quel che riguarda gli aspetti di sicurezza e continuità di servizio. La disponibilità di un tale ambiente consentirà, inoltre, la valutazione e la verifica della cor-

rettezza e dell'efficacia delle procedure previste per la gestione di eventi di crisi.

Il Centro di Simulazione così concepito potrà costituire un Centro di Competenze del Dipartimento della Protezione Civile, secondo la Direttiva della Presidenza del Consiglio dei Ministri 27-2-2004, pubblicata nella G.U. 11 marzo 2004, n. 59, S.O.

La vulnerabilità delle organizzazioni umane: alcuni spunti di riflessione

La sicurezza delle grandi reti tecnologiche dipende non solo dalle loro proprietà tecnologiche ma anche dalle caratteristiche dell'uomo e dell'organizzazione che le gestisce. Il ruolo della componente umana cresce parallelamente alla complessità delle reti e alle regole necessarie per la loro gestione, sia in situazioni di normale funzionamento che d'emergenza. La probabilità d'errore umano sta diventando comparabile, se non superiore, a quella di malfunzionamento dovuto a fattori tecnologici o ambientali, o causato da intrusioni di malintenzionati (*cyber attack*). L'elenco delle gravissime emergenze, provocate o amplificate da errori umani e riportate dai mass media, è già lungo. Anche in Italia il loro numero è in continua e preoccupante crescita.

La comprensione del processo decisionale, individuale e di gruppo, e lo sviluppo di Sistemi Intelligenti di Supporto alle Decisioni (Intelligent Decision Support Systems – IDSS) stanno diventando un'inevitabile sfida per la ricerca e la tecnologia dei nostri tempi.

La ricerca cognitiva e dell'intelligenza artificiale è parte importante di grandi progetti interdisciplinari finanziati da importanti organizzazioni go-

vernative americane (DARPA, NASA, FEMA) ed europee, nell'ambito del Sesto e Settimo Programma Quadro della Commissione Europea.

Il concetto di *vulnerabilità dell'organizzazione* è legato a stati di non efficace funzionamento, spesso dovuti al tipo di struttura dell'organizzazione, che non permettono di prendere decisioni sufficientemente efficienti e d'evitare errori gestionali che risultano irreversibili soprattutto in situazioni di stress, pericolo e minacce provenienti dall'esterno, guasti e malfunzionamenti interni delle strutture o altro tipo di emergenza.

I recenti grandi disastri, quali Chernobyl, il *blackout* elettrico americano e italiano, l'onda Tsunami e l'uragano Catarina, forniscono evidenti esempi dell'esistenza, dannosità e diffusione di tali vulnerabilità.

Il contributo dell'ingegneria socio-cognitiva³ per il governo e la sicurezza delle grandi reti tecnologiche comincia quando la situazione gestita normalmente dagli operatori esce fuori dalle loro competenze di *routine* e richiede delle decisioni che coinvolgono l'intera organizzazione responsabile della fornitura e qualità dei servizi.

In questo contesto, lo sviluppo di scenari e di modelli socio-cognitivi è elemento cruciale per l'identificazione delle inter- e intra-dipendenze e per la progettazione di strumenti di supporto decisionale per operatori e *manager*. Inoltre, gli errori umani nei processi decisionali costituiscono la principale criticità nella pianificazione delle procedure d'emergenza da adottare.

La **modellazione** socio-cognitiva ha come oggetto d'indagine il comportamento umano e le interazioni tecnologia-uomo-organizzazione, e usa le metafore di funzionamento della men-



te umana. La possibilità di verificare concetti e ipotesi socio-cognitivi implementate nei complessi sistemi software è cruciale per la progettazione di grandi sistemi eterogenei con componenti umani, lo sviluppo e la validazione dei moduli di governo, i processi decisionali di controllo e di supervisione di un qualsiasi sistema che supera un certo livello di complessità ed incertezza. Le ricerche svolte negli ultimi venti anni suggeriscono in modo sempre più convincente che l'applicazione di strumenti concettuali della meta-conoscenza nel contesto sistemico, implementati usando le moderne tecnologie software, potrebbero permettere un'identificazione di tale capacità umana fino alla sua modellazione computazionale.

La **simulazione** è il secondo passo nella strategia della ricerca per analizzare sistemi complessi e richiede strumenti e tecnologie avanzate ad alte prestazioni come, ad esempio le piattaforme di calcolo parallelo. In tale ambiente, con l'obiettivo dell'addestramento, si può realizzare il così detto *emergency game* di tipo *multi-player*, che permette di analizzare le azioni individuali, le decisioni organizzative e le previsioni (*what-if analysis*), per la pianificazione degli interventi futuri e per reagire "in tempo reale" all'evento oggetto della simulazione.

La **metodologia** è il terzo obiettivo e strumento chiave per l'ingegneria socio-cognitiva.

L'uso dei metodi e dei modelli per gestire le reti è stato in passato ampiamente studiato mediante la Teoria dei Grafi e, più in generale, con strumenti di Ricerca Operativa e di Ingegneria dei Sistemi. La creazione di nuovi paradigmi ha reso però tale studio sempre più difficile, rendendo necessaria

l'introduzione di nuove metodologie, soprattutto a causa dell'incertezza e incompletezza delle informazioni, delle conoscenze e delle variabili in gioco. Nel caso di reti complesse che sovrintendono aggregati socio-tecnologici, gli approcci basati su: Tecnologie di Agenti Intelligenti (IAT), *System Dynamics* (SD) e *Social Network Analysis* (SNA) si sono dimostrati utili soltanto per affrontare casi particolari. Questi approcci, infatti, non prendono in considerazione i processi cognitivi dell'individuo coinvolti in ogni tipo di decisione reale. D'altra parte, i modelli cognitivi presenti in letteratura o sono troppo specializzati o non sono capaci di superare la barriera della computazionalità.

In conclusione, la complessità e la numerosità degli aspetti reali richiede, dall'ingegneria socio-cognitiva, una nuova metodologia per l'acquisizione e la gestione di conoscenza interdisciplinare ed eterogenea. Tale metodologia deve essere basata sull'applicazione integrata dei paradigmi di ingegneria, fisica e scienze cognitive e sociali.

Forte dell'esperienza maturata nel contesto dell'attività di ricerca sul nucleare, l'ENEA è già stato impegnato, dall'inizio degli anni 90, sul versante della sicurezza e dell'aumento dell'affidabilità dei sistemi "uomo-macchina", sviluppando progressivamente modelli cognitivi dell'operatore di impianti ad alto rischio e una metodologia di gestione delle conoscenze complesse, denominata TOGA[16]. Successivamente ha dato seguito alla ricerca teorica sviluppando prototipi di strumenti di supporto decisionale all'operatore e ai *manager* delle emergenze su larga scala.

Le competenze ENEA in questo nuovo e importante campo della ricerca

e sviluppo si collocano in prima fila nel panorama internazionale⁴ e forniscono un importante contributo per lo studio, l'analisi e l'aumento della sicurezza delle grandi infrastrutture tecnologiche [17].

L'ENEA, soprattutto nell'ambito del citato Progetto PON-CRESCO, sottoprogetto Socio-Cognitivo⁵, intende continuare a contribuire in questo settore:

- nello sviluppo di un modello computazionale sufficientemente dettagliato di un'entità intelligente (individuale e collettiva) che può usare diverse conoscenze professionali nei processi decisionali;
- nell'identificazione delle vulnerabilità, delle loro cause, e l'elaborazione di metodi per la loro eliminazione nel ciclo di vita delle organizzazioni umane che gestiscono le situazioni di alto rischio;
- nello sviluppo di ambienti di simulazione per la verifica di modelli socio-cognitivi e per le loro applicazioni, nei casi concreti, di particolare attenzione alle decisioni nelle situazioni di emergenza relative alle infrastrutture critiche.

Conclusioni e prospettive di ricerca e sviluppo

La crescente complessità delle grandi reti tecnologiche e la conseguente accresciuta vulnerabilità rispetto a eventi indesiderati, sia accidentali che intenzionali, richiedono una generale riconsiderazione dell'approccio alla sicurezza, considerando nel contempo le possibili interazioni tra le infrastrutture al fine di prevenire effetti di caduta a cascata.

Il rischio associato alle vulnerabilità delle grandi reti, in particolare energetiche, aggiunge una nuova dimen-

sione al problema dell'approvvigionamento energetico, che non è legato solo alla disponibilità della sorgente energetica ma anche all'affidabilità e sicurezza delle reti di trasmissione e distribuzione delle diverse risorse energetiche. Questa nuova dimensione richiede un approccio multi-giurisdizionale di collaborazione tra operatori storicamente indipendenti e multi-disciplinare di ricerca e sviluppo che un ente come l'ENEA può sostenere a livello nazionale.

In ambito europeo, la necessità di affrontare con un approccio sistemico il problema della sicurezza delle grandi infrastrutture a rete è affrontato a livello di *policy* dalla Comunicazione COM(2006)⁶ 786 final, 12 dicembre 2006, "*European Programme for Critical Infrastructure Protection (EPCIP)*", e dalla proposta di Direttiva COM(2006)⁷ 787 final, 12 dicembre 2006, "*Identification and Designation of European Critical Infrastructure and the Assessment of the need to improve their protection*", che richiedono a tutti gli Stati membri di dotarsi di strumenti e metodologie per far fronte in modo adeguato al problema della sicurezza delle grandi reti nazionali, con particolare riferimento ai problemi di modellistica, analisi e simulazione delle interdipendenze.

La *policy* identificata dall'EPCIP trova attuazione in ambito settimo Programma Quadro (FP7) nell'iniziativa "*European Security Research Programme (ESRP)*"⁸ della DG Enterprise & Industry che, insieme alla DG Information Society mira a stimolare le attività di R&D nel campo della sicurezza nei diversi Stati membri. Iniziative più specifiche si ritrovano nella DG Energy and Transport con il nome *Security in Transport & Energy*⁹.



A livello nazionale mancano ancora iniziative, sia di *policy* che di ricerca, mirate ad affrontare in modo organico il problema della Protezione delle Infrastrutture Critiche. Data la natura intersettoriale e multi-giurisdizionale del problema, la necessità di fissare una *policy di governance* delle reti va di pari passo con l'innovazione tecnologica. È stato costituito, nel marzo del 2003 presso il Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie della Presidenza del Consiglio dei Ministri, il Gruppo di Lavoro sulla Protezione delle Infrastrutture Critiche Informatizzate, che ha redatto nel marzo del 2004 un rapporto sulla situazione nazionale [18].

Tale rapporto auspica l'adozione di alcune iniziative tese a ridurre i possibili pericoli connessi con il mutato contesto infrastrutturale del Paese. Fra queste, le attività di Ricerca e Sviluppo occupano un ruolo prioritario dato che, (come evidenziato anche nel *CIIP Handbook 2006*), la situazione attuale della ricerca a livello mondiale è ancora in una fase iniziale e immatura [19]. Questo impone la necessità di attivare iniziative che possano fungere da catalizzatore nei confronti del mondo accademico e della ricerca.

Il carattere assolutamente multidisciplinare delle attività di ricerca e sviluppo di cui necessita il problema della Protezione delle Infrastrutture Critiche pone l'ENEA quale punto di riferimento naturale per sostenere e coordinare un'attività di ricerca a livello nazionale.

L'ENEA, insieme alla sua partecipata CESI Ricerca, nel settore specifico è *leader* in Italia e risulta tra le istituzioni *leader* a livello europeo (insieme a Fraunhofer tedesco, ENST francese, TNO olandese) e può vantare la partecipazione alla quasi totalità dei progetti europei nel settore.

L'ENEA, sulla scia di quanto già fatto negli ultimi anni, si propone di sviluppare un sistema organico di tecnologie ICT, metodologie, modelli e sistemi di supporto alle decisioni che, integrando le informazioni provenienti dal territorio con quelle relative allo stato delle grandi infrastrutture nazionali, sia in grado di fornire ai soggetti preposti alla gestione delle grandi infrastrutture e/o delle crisi, informazioni sui possibili scenari di evoluzione. Sulla base di questo obiettivo l'ENEA intende realizzare un laboratorio, presso il Centro della Casaccia, aperto al contributo di altri soggetti interessati al tema, con l'obiettivo di sviluppare soluzioni tecniche e tecnologiche e prodotti da utilizzare e/o da integrare all'interno delle attività della rete nazionale dei Centri Funzionali del Dipartimento della Protezione Civile per lo svolgimento di attività di sorveglianza, nonché la formulazione di scenari di rischio in tempo reale relativi alle strutture strategiche nazionali e alle possibili evoluzioni degli stessi scenari. Tale attività potrà promuovere i rapporti con il sistema dei servizi nazionali e locali, nonché il sistema delle imprese.

In ogni caso, rimane il carattere assolutamente strategico delle attività di ricerca in questo settore. A distanza di pochi anni da quando l'allora Presidente degli Stati Uniti Bill Clinton, il 22 maggio 1998, firmò la "*Presidential Decision Directive 63*" (PDD-63) sulla difesa delle Infrastrutture Critiche, che ha dato vita al "*Critical Infrastructure Assurance Office*" (CIAO) e ha segnato di fatto la nascita del filone di ricerca e sviluppo sulle infrastrutture critiche, gli eventi hanno dato ragione alla rilevanza strategica del settore e alla necessità di investire in ricerca.



ENEA - Dipartimento Tecnologie Fisiche
e Nuovi Materiali

Per informazioni
sandro.bologna@casaccia.enea.it

Il presente articolo è stato derivato dal Dossier "ENEA per il Governo e la Sicurezza delle Grandi Reti Tecnologiche ed Energetiche", preparato in occasione del Workshop ENEA di pari oggetto, tenuto a Roma il 24 novembre 2006. Il Dossier completo e le presentazioni dei partecipanti al Workshop sono disponibili sul sito ENEA all'indirizzo <http://www.enea.it/com/web/convegni/work241106/resoconto241106.html>

Note

1. <http://www.cresco.enea.it>
2. <http://www.sandia.gov/mission/homeland/programs/critical/nisac.html>
3. Con il termine "socio-cognitivo" ci riferiamo a tutti i fattori dei processi decisionali cognitivi come le capacità, conoscenze, interessi e motivazioni individuali impiegati da un "decisore", umano o artificiale, nel contesto dei vincoli e delle interazioni sociali soggettivamente riconosciute.
4. Nel 1997 ENEA ha aperto il primo sito sul tema: *Meta-Knowledge Engineering & Management Server for High-Intelligent Socio-Cognitive Systems*, <http://erg4146.casaccia.enea.it>
5. <http://erg4146.casaccia.enea.it/SC-CRESCO/index-it.html>
6. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0786en01.pdf
7. http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2006/com2006_0787en01.pdf
8. http://ec.europa.eu/enterprise/security/index_en.htm
9. http://ec.europa.eu/dgs/energy_transport/security/infrastructure/index_en.htm



Bibliografia

- [1] D. Watts e S. Strogatz, *Collective dynamics of 'small-world' networks*, *Nature*, vol. 393, pp. 440 - 424 giugno 1998.
- [2] R. Albert, A. Barabasi, *Statistical Mechanics of Complex Networks*, *Reviews of Modern Physics*, 74, pp. 48-97, 2002.
- [3] A. Barabasi, R. Albert, *Emergence of scaling in random network*, *Science*, 286, pp. 509,511,1999.
- [4] R. Albert, H. Jeong and A. Barabasi, *Error and attack tolerance of complex networks*, *Nature*, 406, pp. 378- 382, 2000.
- [5] X.F. Wang, G. Chen, *Complex Networks: Small-World, Scale-Free and Beyond*, *IEEE Circuit and Systems Magazine*, pp. 6 – 20, 2003.
- [6] NAT Simulation Environment: How to use it, web <http://ciip.casaccia.enea.it/nat/>
- [7] A. Bobbio, E. Ciancamerla, M. Minichino, E. Tronci, *Functional Analysis of a Telecontrol System and Stochastic measures of its GSM/GPRS connections* – In Archives of Transport – Polish Academy of Sciences – Committee of Transport – ISSN 0866-9546 – Volume 17 – Issue 3-4 – pag. 39 – 55, 2005.
- [8] M. Valentini, G. Messina, G. Dipoppa, F. Mecca, *Metodi analitici di supporto alle scelte dell'operatore logistico: il sistema SETRAM - SIDT 2004* (XII Convegno nazionale Trasporti) <http://www.sidt.org/>, Università La Sapienza, Facoltà di Ingegneria, settembre 2004.
- [9] C. Balducelli, S. Bologna, L. Lavalle, G. Vicoli, *Safeguarding information intensive critical infrastructures against novel types of emergine failures*, *Int. Journal of Reliability Engineering & System Safety*, ScienceDirect, Elsevier, 2006, Article in Press.
- [10] S. Rinaldi, J. Peerenboom, e T. Kelly, "Identify, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies", *IEEE Control System Magazine*, pp. 11-25, dicembre 2001.
- [11] EU-IST SAFEGUARD – Intelligent Agents Organisations to Enhance Dependability and Survivability of Large Complex Critical Infrastructure.
- [12] C. Balducelli, S. Bologna, A. Di Pietro, G. Vicoli, *Analysing Interdependencies of Critical Infrastructures using Agent Discrete Event Simulation* – *Int. Journal of Emergency Management*, Vol. 2, No. 4, 2005, pp. 306-318.
- [13] V. Rosato, F. Tiriticco, L. Issacharoff, S. De Porcellinis, R. Setola, *Modelling interdependent infrastructures using interacting dynamical models*, *Int. J. Crit. Infrastr.*, in Press.
- [14] L. Issacharoff, S. Bologna, V. Rosato, G. Dipoppa, R. Setola, E. Tronci, *A dynamical model for the study of complex system's interdependence*, *Proceedings of International Workshop on Complex Network and Infrastructure Protection (CNIP06)*, Rome, March 28-29, 2006.
- [15] Y.Y. Haimes, P. Jiang, "Leontief-based model of risk in complex interconnected infrastructures," *Journal of Infrastructure Systems*, vol 7(1), pp. 1-12, 2001.
- [16] A. M. Gadomski, *TOGA: A Methodological and Conceptual Pattern for modelling of Abstract Intelligent Agent*, *Proc. of the First International Round-Table on Abstract Intelligent Agent*, 25-27 Jan.1993, Rome, Published by ENEA, Feb.1994.
- [17] A.M. Gadomski, *Modelling of Socio-Cognitive Vulnerability of Human Organizations: TOGA Meta-Theory Approach* - *Proc. of International Workshop on Complex Network and Infrastructure Protection (CNIP06)* Rome, March, 2006.
- [18] Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie, Gruppo di Lavoro sulla Protezione delle Infrastrutture Critiche Informatizzate, *Protezione delle Infrastrutture Critiche Informatizzate – la realtà italiana*, Roma, marzo 2004.
- [19] M. Dunn, V. Mauer (eds.) *International CIIP Handbook 2006*, ETH, the Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 2006. http://www.crn.ethz.ch/publications/crn_team/detail.cfm?id=16156

30 anni di efficienza energetica in Italia: il contributo dell'ENEA

Americo Carderi, Walter Cariani,
Franco Degli Atti, Nino Di Franco,
Maura Liberatori,
Rino Romani, Sigfrido Vignati

Questo lavoro intende fornire un quadro delle politiche italiane messe in atto negli ultimi trent'anni per aumentare l'efficienza energetica nel Paese, con particolare attenzione ai meccanismi di incentivazione e alle metodologie di quantificazione dei risparmi.

Queste ultime in particolare, alla cui definizione l'ENEA ha fornito un grande contributo, saranno oggetto di un'approfondita rivedizione da parte della Commissione Europea, in virtù della recente emanazione della direttiva 2006/32/CE e degli impegni connessi al suo recepimento

Thirty years of energy efficiency in Italy: ENEA'S contribution

This article describes the policies adopted in Italy over the past three decades to increase the nation's energy efficiency, with particular attention to incentive mechanisms and methodologies for quantifying energy savings. The latter, to whose definition ENEA has made a large contribution, will be the subject of an in-depth review by the European Commission in light of the recent promulgation of the 2006/32/EC directive and the commitments related to its incorporation in Italian law



Il presente lavoro è articolato in cinque parti. La prima analizza le criticità e le opportunità connesse al recepimento della direttiva 2006/32/CE limitatamente alle misure di intervento e alla quantificazione dei risparmi associati; la seconda illustra l'evoluzione della legislazione e delle politiche per l'efficienza energetica nell'ultimo trentennio (dalla legge 373 del 1976 al decreto 192 del 2005); la terza presenta le metodologie per la quantificazione dei risparmi energetici – elaborate dall'ENEA – e utilizzate sia a livello centrale sia locale per l'applicazione delle diverse disposizioni normative; la quarta analizza le novità introdotte a livello metodologico dai decreti ministeriali 2001/2004, nell'ambito dei quali l'ENEA è stato recentemente chiamato a svolgere una importante funzione per la valutazione delle proposte ammesse al programma, e per l'elaborazione e l'aggiornamento delle schede di valutazione; l'ultima intende, infine, fornire alcuni esempi del lavoro svolto dall'ENEA per la diffusione della cultura dell'efficienza energetica.



Efficienza energetica secondo l'Europa

Criticità e opportunità per l'Italia

Alcuni aspetti legati all'emanazione della direttiva 2006/32/CE relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e ai servizi energetici potranno rappresentare problemi e opportunità per il nostro Paese.

In proposito, tra le disposizioni finali del Capo IV, si segnala:

- la possibilità di trasferire alla Commissione metodologie di calcolo, già in uso nel Paese, per la misura del risparmio energetico. Tale circostanza riveste notevole rilevanza con riferimento a quanto previsto nell'allegato I della Direttiva, e in ultima analisi all'obiettivo di non stravolgere i sistemi di valutazione e validazione dei risparmi energetici adottati in Italia;
- la necessità di predisporre e presentare alla Commissione, Piani di azione per l'efficienza energetica, entro il 30 giugno del 2007, 2011 e 2014, che includano dati sui risparmi previsti e conseguiti, debitamente certificati.

Le metodologie di calcolo dei target indicativi e delle misure di risparmio energetico sono indicate in sei allegati alla direttiva.

Per quanto riguarda l'allegato 1, è interessante notare che i risparmi energetici di un particolare anno successivo all'entrata in vigore della direttiva, che risultino da misure di miglioramento dell'efficienza energetica attuate in un anno precedente non anteriore al 1995 e che hanno un effetto duraturo, possono essere presi in considerazione per calcolare i risparmi annuali. In alcuni casi possono essere considerate, nel calcolo del risparmio annuale, misure attuate prima del 1995 ma non anteriori al 1991.

Misure di natura tecnologica dovrebbero o essere aggiornate per tener conto del progresso tecnologico o valutate in relazione al *benchmark* per tali misure. La Commissione fornirà linee guida per la misurazione o la stima di queste misure, laddove possibile sulla base della legislazione comunitaria, come la direttiva 2004/8/CE e la direttiva 2002/91/EC. L'allegato 3 presenta la lista di esempi delle misure di miglioramento dell'efficienza energetica ammesse. Per essere prese in considerazione queste misure devono produrre risparmi energetici che possano essere chiaramente misurati e verificati o stimati secondo le linee guida dell'allegato 4, e il loro impatto sui risparmi energetici non deve essere già contabilizzato in altre misure.

L'allegato 4 descrive il quadro generale per la misurazione e la verifica dei risparmi energetici.

La Commissione Europea, con l'assistenza di comitati di esperti dei vari paesi membri, dovrà sviluppare una metodologia armonizzata per misurare i risparmi ottenuti e valutare i miglioramenti dell'efficienza energetica. In particolare, un Comitato di rappresentanti degli Stati membri, assistito da sub-comitati di esperti nominati dai singoli Stati o selezionati dal gruppo di esperti che ha collaborato alla formulazione della direttiva, dovrà specificare il metodo di valutazione e di monitoraggio da applicare.

Al proposito è interessante notare che la direttiva cita sia il metodo *top-down*¹, che usa aggregati di indicatori energetici, sia il metodo *bottom-up*², più analitico sugli effetti delle singole misure, e che dovrebbe essere utilizzato almeno per il 25% dei risparmi energetici utili ai fini della stessa direttiva.

Entrambi questi metodi dovranno essere meglio specificati, e a tal fine la DG-TREN della CE ha invitato un gruppo di esperti per discutere le opzioni e i pro-



blemi connessi al monitoraggio e alla valutazione. In via informale, sono stati indicati problemi legati alle differenze nelle definizioni di risparmio e nella gestione di effetti, come quelli più suscettibili di produrre distorsioni. Per quanto riguarda il metodo *bottom-up*, la questione della durata media degli in-

terventi sarà cruciale per stabilire quali, e per quanto tempo, gli interventi attuati prima del 2006 possono essere considerati utili al raggiungimento del target imposto dalla direttiva per gli anni successivi.

Per il metodo *top-down*, la direttiva propone di utilizzare l'indicatore ODEX, ag-

Box 1 - La Direttiva 2006/32/CE **Efficienza energetica, politiche di sostegno, strumenti operativi**

Sulle due questioni che prospettano una forte incidenza sui costi associati alla direttiva, segnatamente la quantificazione e certificazione dei risparmi per il periodo di riferimento e la definizione, concordata a livello europeo, delle metodologie ammissibili, l'ENEA può fornire un contributo qualificato sulla base del ruolo svolto, degli strumenti sviluppati e delle competenze acquisite nel corso degli ultimi 30 anni a supporto delle istituzioni centrali e periferiche nella definizione e implementazione delle politiche e dei programmi di miglioramento dell'efficienza energetica.

D'altra parte l'Italia dovrà, al pari di altri paesi, dotarsi di strumenti che aiutino l'intervento pubblico a ristabilire e/o a promuovere condizioni operative atte a indirizzare i privati verso la costituzione e lo sviluppo di mercati delle energie rinnovabili e del risparmio energetico. Riguardo al supporto di cui gli Stati membri possono avvalersi ai fini della direttiva, si sottolineano qui le disposizioni contenute in una serie di articoli. Il c. 4 dell'art. 4 recita: " Gli Stati membri affidano ad una o più autorità o agenzie nuove o preesistenti, il controllo generale e la responsabilità di supervisionare il quadro istituito, ai fini dell'obiettivo generale della direttiva. ... omissis..". L'art. 9 riguarda la semplificazione regolamentare per i finanziamenti, e l'individuazione di contratti tipo. L'art. 11 riguarda la possibilità di istituire fondi dedicati. L'art. 12 riguarda la diffusione di sistemi di diagnosi energetica e di certificazione dei risparmi.

Questo blocco di articoli rappresenta l'esemplificazione della presa d'atto di un certo numero di barriere e fallimenti di mercato³ che frenano le decisioni di investimento privato nel settore. Tipicamente le barriere in questione sono legate ai costi e al rischio/incertezza sui rendimenti di lungo periodo delle tecnologie pulite, attualmente più alti di quelli percepiti nei sistemi convenzionali, laddove la percezione è spesso condizionata da mancanza di informazione tempestiva e accurata. La distorsione di mercato più evidente è inoltre quella legata a un sistema di formazione del prezzo dei combustibili fossili che, pur se altamente volatile, e ne è testimone l'andamento ciclico degli ultimi trent'anni, non rispecchia i costi sociali e ambientali del loro utilizzo, ignora cioè le esternalità, e per ciò impone alle tecnologie energetiche sostenibili uno svantaggio in termini di competitività, rendendone la loro diffusione dipendente dalle politiche di sostegno pubbliche sia finanziarie sia regolamentari.

Obiettivi autoimposti e/o vincoli stabiliti a livello sovranazionale e internazionale hanno indotto le autorità pubbliche di governi centrali e periferici a considerare gli impatti più ampi della produzione e del consumo di energia, alla ricerca di modi sempre più raffinati ed efficaci di intervenire, stante mercati che si trasformano sempre più rapidamente e mutevole.

È ormai comunemente riconosciuto che interventi pubblici efficaci sono quelli tesi alla promozione dell'innovazione tecnologica per l'energia sostenibile e quelli che forniscono certezze sul quadro regolamentare e operativo del quale hanno bisogno gli operatori economici per prendere le loro decisioni di investimento di lungo periodo. Tipicamente le politiche più apprezzate sono quelle che aiutano la creazione dei mercati, riducono il rischio, prospettano tassi di rendimento accettabili per investire e creano le condizioni per una industria dell'energia, sostenibile sotto il profilo ambientale, finanziario ed economico.



gregato di un certo numero di indicatori energetici per diversi settori di utilizzo. Non è esclusa una revisione di questo indicatore, mentre è largamente condivisa l'esigenza di un miglioramento della qualità dei dati di riferimento.

Per il metodo *bottom-up*, un approccio comune richiede un dettagliato resoconto delle misure di risparmio realizzate, imputabili alle diverse politiche e iniziative. Oltre alla questione della durata di vita degli interventi, cui si è già accennato, si sottolineano qui alcune altre questioni aperte di una certa rilevanza.

I metodi *top-down* o *bottom-up* possono indicare risparmi che non rappresentino quelli definiti nella direttiva. Ad esempio l'indicatore ODEX potrebbe contenere gli effetti di un cambiamento strutturale (variazione del tasso di occupazione degli edifici) o gli effetti di fattori autonomi, come l'aumento dei prezzi dell'energia. I metodi *bottom-up*, che si concentrano sulle singole misure

di *policy*, potrebbero ignorare l'effetto sinergico delle diverse misure.

Tenuto conto che la Commissione si è riservata la facoltà di dirimere i problemi sopra elencati entro il 2012, è ovvia la convenienza per l'Italia di valorizzare, in ambito europeo, quanto è stato già fatto in merito allo sviluppo di metodologie di valutazione del risparmio energetico per i diversi provvedimenti legislativi emanati in ambito nazionale.

Evoluzione della legislazione e delle politiche per l'efficienza energetica

Il tema dell'energia, sotto l'aspetto del contenimento dei consumi e dell'efficienza energetica, è stato oggetto di attenzione, nella legislazione italiana, dagli inizi degli anni settanta; l'elenco dei provvedimenti normativi che hanno determinato l'indirizzo delle politiche energetiche, per i vari settori (civile, industriale e trasporti) è riportato nel box 2:

Box 2 - Le leggi di sistema in campo energetico

- Legge 30 aprile 1976 n. 373.
- Legge 29 maggio 1982 n. 308.
- Legge 9 gennaio 1991 n. 10 (DPR 412/93).
- Decreto legislativo 19 agosto 2005 n. 192.
- Decreto legislativo 16 marzo 1999 n. 79.
- Decreto legislativo 23 maggio 2000 n. 164.
- Decreti 2001 "Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di incremento dell'efficienza energetica degli usi finali ai sensi dell'articolo 9, comma 1, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79". "Determinazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili di cui all'articolo 16, comma 4, del decreto legislativo 23 maggio 2000, n. 164".
- Decreti 2004 "Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi per l'incremento dell'efficienza energetica negli usi finali di energia, ai sensi dell'art. 9, comma 1, del decreto legislativo 16 marzo 1999, n. 79". "Nuova individuazione degli obiettivi quantitativi nazionali di risparmio energetico e sviluppo delle fonti rinnovabili, di cui all'art. 16, comma 4, del decreto legislativo 23 maggio 2000, n. 164".

Il recente D.Lgs 19 agosto 2005 n. 192 ha completato il percorso intrapreso negli anni settanta, eliminando alcune incongruenze normative presenti nella precedente legislazione, cercando di integrare la regolamentazione di tutti gli impianti a servizio dell'edificio. Ha inoltre introdotto l'obbligatorietà della certificazione energetica negli edifici di nuova costruzione.



Di seguito si riportano alcune sintetiche considerazioni sullo spirito delle prime leggi e la metodologia di applicazione delle stesse, riservando una sezione a parte per l'esame dei decreti 2001-2004.

Legge 373/1976

Il primo provvedimento di risparmio energetico predisposto in Italia è la legge 30 aprile 1976 n. 373 ed i suoi decreti applicativi (DPR 28/6/1977 n. 152 e DM 10/1977), con cui si è affrontato il problema del contenimento dei consumi energetici nella progettazione dei nuovi edifici e nella ristrutturazione di quelli esistenti.

Lo spirito della legge era quello tipico del *command-control*, con cui si intendeva fissare standard energetici per il settore edilizio; in effetti, sia per il carattere innovativo, sia per le condizioni d'urgenza con cui la norma è stata approntata, non tutti gli aspetti furono affrontati o sufficientemente approfonditi.

L'aspetto principale della legge era la prescrizione di limiti alla potenza degli impianti di riscaldamento, attraverso la definizione di un coefficiente volumico globale; al riguardo, però, non veniva fornito alcun metodo di calcolo da utilizzare nella verifica. Di fatto, i tecnici del settore furono indirizzati ad utilizzare la norma italiana UNI 7357, arrivando a risultati, per il calcolo della potenza, largamente sovradimensionati; la UNI 7357, finalizzata al calcolo del carico termico per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento, forniva, infatti, una valutazione molto cautelativa: si riferiva a condizioni climatiche limite, non teneva conto degli apporti gratuiti, sovravalutava le dispersioni lato nord, non considerava l'inerzia delle strutture, ecc.

Un altro punto di debolezza della 373/76

è stato quello di aver trascurato di fatto l'efficienza degli impianti. Per il contenimento dei consumi energetici erano definite due grandezze ed i relativi requisiti: un requisito prestazionale legato al livello di isolamento ($C_d < C_{dim}$); e un altro limitativo legato al dimensionamento della potenza del generatore di calore che non doveva superare un valore massimo imposto per legge.

Di fatto, il legislatore non si preoccupava della applicazione della norma, affidata ai Comuni; questi ultimi non erano stati coinvolti nell'elaborazione della legge forse anche per la mancanza di una struttura di rappresentanza su temi tecnici (all'epoca erano rappresentati dal ministero dell'Interno che gestiva i segretari comunali). La legge prevedeva precisi controlli sui progetti all'atto della licenza di costruzione (oggi concessione), controlli che richiedono tempo e personale competente. I Comuni, per adempiere ai compiti ad essi attribuiti, avrebbero dovuto rafforzare gli organici con personale tecnico specializzato; i piccoli Comuni avrebbero dovuto consorzarsi; si sarebbero dovuti prevedere controlli in loco. Insomma ci sarebbe stato bisogno di risorse finanziarie per coprire le spese collegate alle nuove funzioni, di cui non vi è traccia nella legge. Per questi motivi la legge è risultata poco efficace, ma ha avuto il merito di evidenziare tutti quegli aspetti della progettazione energetica che sarebbero stati poi oggetto di studio e di ricerca negli anni successivi.

Legge 308/1982

Con la legge n. 308 del 29 maggio 1982 viene promossa la prima campagna di incentivi per una politica energetica nazionale.

La legge si proponeva (art. 1) di incentivare il contenimento dei consumi ener-



getici e l'utilizzazione delle fonti rinnovabili quali il sole, il vento, l'energia idraulica, le risorse geotermiche e la trasformazione dei rifiuti organici ed inorganici o di prodotti vegetali. Essa considerava fonte rinnovabile anche il calore di recupero negli impianti di produzione di energia elettrica, nei fumi di scarico e da impianti termici e processi industriali.

Gli incentivi prevedevano, per i settori dell'edilizia, dell'agricoltura e dell'industria, dei finanziamenti in conto capitale e in conto interessi.

In particolare, per l'edilizia (art. 6) venivano finanziati in conto capitale, fino ad un massimo del 30%, interventi quali: coibentazione di edifici esistenti, installazione di nuovi generatori di calore ad alto rendimento, installazione di pompe di calore che coprissero almeno il 30% del fabbisogno termico annuo dell'impianto in cui era previsto l'intervento, utilizzo di impianti fotovoltaici o altra fonte rinnovabile per la produzione di energia elettrica negli edifici rurali non elettrificati e infine l'installazione di sistemi di controllo integrati in grado di regolare e contabilizzare, per ogni singola utenza, i consumi energetici.

Inoltre si stabiliva (art. 5) che gli interventi sugli edifici esistenti, tesi a incentivare l'uso delle energie rinnovabili, erano da considerare come manutenzione straordinaria, ricadendo, quindi, nell'ambito delle autorizzazioni con criterio di silenzio-assenso nel termine di 90 giorni.

Nell'industria e nell'agricoltura (art. 8) erano ammesse a contributo le iniziative che conseguivano un'economia non inferiore al 15% dei consumi iniziali di idrocarburi e di energia elettrica; per queste iniziative erano previsti contributi in conto interessi per mutui fino a dieci anni, oppure in conto capitale fino al 25% della spesa preventivata e fino ad un massimo di 500 milioni di lire.

L'articolo 12, anch'esso dedicato al settore agricolo, stabiliva contributi in conto capitale per la realizzazione di investimenti volti a dotare le aziende agricole di impianti per la produzione di energia termica, elettrica e meccanica da fonti rinnovabili nella misura del 50% della spesa ammessa, elevabile al 60% per le cooperative.

L'erogazione degli incentivi, di cui agli articoli 6, 8 e 12 sopra citati, era di competenza delle Regioni, chiamate a svolgere un ruolo diretto in campo energetico; mentre al Ministero dell'Industria era demandato il compito di finanziare studi di fattibilità o progetti esecutivi di impianti civili, industriali o misti, di produzione, recupero, trasporto e distribuzione del calore derivante dalla cogenerazione o dall'utilizzo di energie rinnovabili con dimensioni maggiori, ovvero impianti:

- con potenza della rete di distribuzione del calore erogato all'utenza maggiore di 20 MWt,
- con potenza elettrica installata per la cogenerazione pari almeno al 10% della potenza termica erogata all'utenza,
- che utilizzassero energie rinnovabili e la cui potenza termica fosse pari ad almeno 5 MWt.

Oltre alla incentivazione del risparmio energetico e delle fonti rinnovabili la legge modificava il regime giuridico degli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile e di energia elettrica e calore. Infatti essa, per favorire l'autoproduzione di energia elettrica, eliminava la riserva disposta in favore dell'ENEL dall'art. 1 della legge n.1643 del 6 dicembre 1962 e quindi di fatto liberalizzava la produzione di energia elettrica se proveniente da fonte rinnovabile, purché la potenza dell'impianto non fosse superiore a 3.000 kW elettrici (art. 4).



Le disposizioni finali prescrivevano l'omologazione di impianti e apparecchiature per l'utilizzazione delle fonti rinnovabili (art. 22) e l'obbligo di munire (art. 23) gli apparecchi di riscaldamento e domestici di etichetta inerente informazioni sul consumo energetico.

L'attuazione della 308/82 ha risentito negativamente della mancata previsione di misure di accompagnamento (nei programmi della UE ad es. dal 4 al 7% del budget complessivo viene usualmente destinato al finanziamento del funzionamento e follow-up della misura). Altro elemento certamente non positivo è da ricercare nell'incertezza degli stanziamenti, nel caso di programmi pluriennali, per gli anni successivi all'emanazione del provvedimento correlata alla forte instabilità del quadro istituzionale.

Gli incentivi costituirono un forte traino per la realizzazione di tutti quei progetti che prospettavano per le imprese indicatori di redditività degli investimenti prossimi alla soglia di interesse; i due esempi di maggior successo furono il decollo dei programmi di teleriscaldamento delle municipalizzate, basati prevalentemente sull'utilizzo del metano, senza diversificare verso il carbone e i rifiuti; e, nel settore ceramico, la grande innovazione dei forni a rulli che sostituiscono quelli a tunnel.

D'altro canto, i risultati effettivamente conseguiti si discostarono significativamente dagli obiettivi per un mix di inadeguatezza tecnica o finanziaria del proponente; di sottostima delle barriere di mercato e della necessità di accompagnare il provvedimento ad un programma mirato di ricerca e sviluppo; di mancata regolarità e flessibilità nella gestione degli incentivi.

Legge 10/1991

La legge 10/91 ha avuto un carattere fortemente innovativo avendo anticipato concetti ed azioni contenuti poi nelle direttive comunitarie sulla materia.

Tra le diverse, significative innovazioni della normativa si segnala l'ampliamento della categoria delle fonti di energia assimilate alle rinnovabili (art. 1 c. 3), comprendendo, tra le altre, la cogenerazione e i recuperi di calore negli impianti e nei processi produttivi: tale estensione acquistava rilievo non solo ai fini dell'accesso agli incentivi e alle altre facilitazioni previste dalla legge, ma anche con riferimento alla liberalizzazione dell'attività di produzione dell'energia elettrica da fonti rinnovabili disposta dall'art. 22 della legge n. 9 del 1991. Importante è stata anche l'inclusione, tra le fonti assimilate alle rinno-

Box 3 - I risultati della legge 308/1982

Gli interventi incentivati con la legge 308, nel triennio 1985-1987 hanno generato un risparmio medio annuo calcolato in circa 6 Mtep⁴.

L'investimento complessivo richiesto per la realizzazione degli interventi è stato stimato in circa 5.814 miliardi di lire, con un contributo concesso pari a 1.696 miliardi di lire (importi in valuta 1987).

Il costo dell'energia risparmiata è stato pari a 968.000 Lit./tep, di cui circa il 30% coperto dal contributo pubblico.

Il risparmio ottenuto ha rappresentato all'incirca il 5% del consumo energetico finale dell'anno 1987. In valuta 1987, tale risparmio ha consentito una riduzione della fattura energetica di circa 1.400 miliardi di lire (ovvero il 7,4% della spesa energetica totale).

La vita utile degli interventi è risultata, mediamente, superiore ai 10 anni e quindi il risparmio cumulato ha rappresentato un contributo rilevante alla riduzione della domanda finale di energia.



vabili, dei risparmi di energia conseguibili nella climatizzazione e nell'illuminazione degli edifici con interventi sull'involucro edilizio e sugli impianti. Inoltre il c. 4 dell'art. 1 considerava l'utilizzo delle fonti rinnovabili ed assimilate attività di pubblico interesse e di pubblica utilità e qualificava le opere relative come indifferibili ed urgenti, avendo come conseguenza l'accelerazione dei procedimenti autorizzativi connessi alla realizzazione delle opere.

Rilevante, inoltre, è stato l'ampliamento dei poteri regionali: ai sensi dell'art. 5, alle Regioni veniva attribuito un ruolo fondamentale nella pianificazione energetica, con riguardo sia alla delimitazione dei bacini energetici sia alla predisposizione dei piani regionali relativi all'uso delle fonti rinnovabili.

Gli articoli, da 8 a 18, erano dedicati alle incentivazioni finanziarie delle attività private e/o pubbliche dirette al risparmio energetico e allo sviluppo delle fonti rinnovabili.

La legge delegava alle Regioni l'erogazione dei contributi nei settori dell'edilizia (art. 8) dell'agricoltura (art. 13) e dell'industria e terziario (art. 10).

Nel settore dell'edilizia, le incentivazioni in conto capitale comprese tra un minimo del 20% ed un massimo del 40% dell'investimento, erano estese, rispetto a quelle già previste dalla legge 308/82 anche alla trasformazione degli impianti centralizzati di riscaldamento in impianti unifamiliari a gas per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, dotati di sistema automatico di regolazione della temperatura, e all'installazione di sistemi ad alto rendimento.

Nel settore industriale, artigianale e terziario, i contributi in conto capitale, fino ad un massimo del 30% della spesa ammissibile e per impianti con potenza fino a 10 MW termici o fino a 3 MW

elettrici, riguardavano il risparmio di energia conseguito attraverso l'utilizzo di fonti rinnovabili e/o un migliore rendimento di macchine e apparecchiature e/o la sostituzione di idrocarburi con altri combustibili.

Nel settore agricolo, il contributo in conto capitale era previsto nella misura massima del 55% della spesa ammissibile, elevabile al 65% per le cooperative.

Al Ministero dell'Industria spettavano, invece, le funzioni relative a tutti i progetti, rientranti nelle finalità della legge n. 10, aventi maggiore rilievo tecnico-economico. L'articolo 11 prevedeva l'erogazione di contributi per iniziative di vario genere, suddivise tra studi di fattibilità tecnico-economica, progetti esecutivi e realizzazioni concrete o modifica di impianti. In tutti i casi sussisteva un limite minimo di potenza pari a 10 MW termici o 3 MW elettrici sotto il quale, come accennato si ricadeva in ambito regionale.

Sempre in tema di incentivi, gli articoli 12 e 14 erano specificatamente dedicati, il primo ai progetti dimostrativi di impianti aventi caratteristiche innovative, il secondo alla riattivazione o alla realizzazione di nuovi impianti idroelettrici.

Interessante è il rafforzamento della figura, già prevista dalla legge 308/82, del responsabile per la conservazione e l'uso razionale dell'energia (art. 19). Si tratta di un tecnico che ogni azienda con consumi annui di energia, superiori a 10.000 tep per il settore industriale e 1.000 tep negli altri settori, deve nominare, affidandogli compiti di promozione dell'uso razionale dell'energia e la predisposizione di bilanci energetici. A tale proposito, sul tema specifico, è affidato all'ENEA un ruolo di promozione ed ausilio tecnico.

Il titolo II della legge è dedicato interamente al contenimento dei consumi di energia negli edifici. Il principio guida in materia è che la progettazione degli



edifici, a qualunque uso siano adibiti, così come il progetto, la messa in opera e l'esercizio degli impianti non di processo al servizio degli stessi devono assicurare il massimo contenimento dei consumi di energia termica ed elettrica (art. 26 comma 3 ed art. 31 comma 1). I contenuti della legge 10/91 ed i principi che stanno alla base del suo decreto di attuazione (DPR 412/93) hanno costituito un notevole salto di qualità, rispetto alla 373/76; invece di limitare la potenza dell'impianto, poco indicativa del consumo energetico, si è posto un limite, più opportunamente, al fabbisogno di energia primaria; si è, quindi, iniziato ad affrontare la problematica in un contesto più ampio, considerando globalmente l'involucro edilizio e gli impianti come un complesso organico e integrato, introducendo controlli periodici degli impianti termici a servizio degli edifici.

Sul fronte degli obblighi, la legge n. 10 imponeva la progettazione e la realizzazione degli edifici di nuova costruzione in modo tale da consentire l'installazione di sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione del calore. Si segnala, infine, l'introduzione di nuovi obblighi di certificazione energetica degli edifici, la cui concreta disciplina è rimessa a regolamenti governativi e ministeriali, alla cui definizione ha contribuito anche l'ENEA. Dopo 16 anni di applicazione della legge 10/91 si può affermare che sicuramente si è fatto un passo avanti nella progettazione del complesso edificio –

impianto, ma con risultati ancora modesti rispetto al potenziale della legge, anche in relazione alla mancata emissione di alcuni decreti applicativi.

Il DPR 412/93, ad esempio, anche con le modifiche apportate dal DPR 551/99, copre solo la parte relativa alla climatizzazione invernale e, anche se prevista, mancava la parte relativa alla climatizzazione estiva i cui consumi hanno un trend di aumento doppio rispetto alla media degli altri consumi. Ricordiamo che mancavano i decreti relativi all'involucro dell'edificio (art 4. c. 1 e c. 2 della legge).

D.Lgs 192/2005

Il D.Lgs 19 agosto 2005 n° 192 (Recepimento nazionale della Direttiva europea 2002/91/CE sull'efficienza energetica), ha completato il percorso intrapreso negli anni settanta, eliminando alcune incongruenze normative presenti nella precedente legislazione, cercando di integrare la regolamentazione di tutti gli impianti a servizio dell'edificio. Ha inoltre introdotto l'obbligatorietà della certificazione energetica negli edifici di nuova costruzione.

Il D.Lgs 192/2005 non ha modificato sostanzialmente la filosofia progettuale della legge 10/91, proponendo la verifica della prestazione energetica in termini di energia; ma ha modificato il numero di verifiche considerando solo quella relativa alla prestazione dell'intero sistema edificio-impianto, sostituendo il FEN espresso in $\text{kJ/m}^3\text{GG}$ con il FEP

Box 4 - Perché valutare i risultati

I risparmi conseguiti con l'applicazione della legge 10/1991 e provvedimenti normativi collegati, possono potenzialmente rientrare in misura totale nel computo valido ai fini del conseguimento degli obiettivi fissati dalla Direttiva 2006/32/CE. La quantificazione e certificazione dei suddetti risparmi con metodi ritenuti accettabili dalla CE costituiscono un passaggio obbligato per il Paese nell'ottica della massima valorizzazione degli sforzi prodotti e delle risorse investite nel recente passato.



(fabbisogno energetico annuo per la climatizzazione invernale) espresso in kWh/m²anno (indicatore considerato più idoneo a livello europeo), eliminando le verifiche relative all'isolamento (C_d) ed all'impianto (η_g), e introducendo al loro posto la verifica di requisiti prescrittivi sulle trasmittanze degli elementi opachi e trasparenti dell'involucro edilizio, e sui rendimenti dell'impianto di riscaldamento.

Per quanto riguarda i limiti legislativi ai consumi energetici per il riscaldamento, contenuti nel decreto, mediamente sono più restrittivi nell'ordine del 30% rispetto alla vecchia normativa. In conformità alla Direttiva europea n. 2002/91/CE, il D.Lgs 192/2005 ha inoltre introdotto la prescrizione del calcolo dei consumi energetici anche per il condizionamento estivo, l'illuminazione e la produzione di acqua calda sanitaria. La certificazione energetica, limitatamente agli edifici di nuova costruzione, già introdotta con la legge 10/91 ma mai realmente attuata, è operativa in virtù del D.Lgs 192/2005 da quest'anno. Per quanto riguarda gli impianti termici è stata rivista la periodicità del controllo e della manutenzione, ed estesa l'autocertificazione a tutti gli impianti termici a prescindere dalla potenza installata.

Evoluzione della metodologia per quantificare i risparmi energetici

L'ENEA ha espletato nel corso del tempo, con costante impegno, un ruolo non secondario per la governance della politica energetica italiana anche attraverso la predisposizione di metodologie la definizione dei parametri soggetti a valutazione da parte dei decisori pubblici, sia relativamente agli incentivi concessi, sia per la quantificazione degli obiettivi soggetti alla normativa di riferimento.

Il metodo per l'applicazione della legge 308/1982

La legge 308/82 individuava due canali per il trasferimento dei finanziamenti ai soggetti richiedenti: le Regioni e il Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA). In particolare:

- le Regioni gestivano i fondi a valere sull'art. 6 (contenimento dei consumi energetici in edilizia), sull'art. 8 (contenimento dei consumi energetici nei settori agricolo e industriale) e sull'art. 12 (fonti rinnovabili in agricoltura);
- il MICA gestiva i fondi a valere sull'art. 10 (cogenerazione e fonti rinnovabili), sull'art. 11 (progetti dimostrativi), sull'art. 13 (veicoli a trazione elettrica o mista), e sull'art. 14 (piccole derivazioni d'acqua).

L'ENEA ha fornito il proprio supporto all'applicazione della legge nell'ambito degli articoli di competenza regionale. Il metodo messo a punto dall'ENEA (Metodo di analisi tecnico-economica delle domande di contributi in relazione alla legge 308), pubblicato in volumi resi disponibili al largo pubblico, aveva i seguenti obiettivi:

- costituire una guida (generica e indiretta) ed indicare le tipiche opportunità di risparmio energetico individuando le grandezze significative che descrivono i corrispondenti interventi ed i parametri con cui può essere classificata la validità;
- facilitare la compilazione della relativa domanda per la parte che descrive l'intervento tecnico;
- facilitare la valutazione tecnica delle varie domande alle autorità preposte a giudicarle;
- eseguire le suddette valutazioni su basi trasparenti ed uniformi, lasciando



comunque alle autorità un margine sostanziale di discrezionalità che viene collocato a monte dell'esame delle varie domande;

- esaminare un gran numero di domande in breve tempo, disponendo agevolmente di quadri riepilogativi, prospetti, classifiche statistiche sull'insieme di tutte le domande esaminate.

Descrizione del metodo

Il richiedente, secondo la tipologia di intervento, doveva compilare una scheda tecnica, presentata come un allegato alla domanda di contributo (nella quale erano riportati gli adempimenti burocratici ed amministrativi richiesti dalle singole regioni).

Ciascuna scheda tecnica si riferiva ad un dato tipo d'intervento standard ed a ciascuno dei tre settori: industria, edilizia, agricoltura.

L'elaborazione delle schede tecniche era improntata all'obiettivo di rappresentare la larga maggioranza degli interventi proponibili. Per quelli che non rientravano esplicitamente in nessuna scheda, era prevista una scheda "aperta" in cui erano richiesti dati generali che permettevano le successive valutazioni dell'intervento. In questo caso veniva però richiesta una descrizione dell'intervento la cui fondatezza doveva essere valutata caso per caso al di fuori del calcolo automatico.

Ciascuna scheda tecnica richiedeva vari dati e informazioni, ed era divisa nelle seguenti sezioni:

- situazione esistente (rendimenti di macchine, domande di servizi energetici, durate temporali, disponibilità, ecc. pre-intervento);
- sintesi della proposta (potenza dalle macchine da installare, rendimenti, sezioni di cavi, superfici di scambio termico, ecc.);

- elaborazioni a cura dell'ufficio (la scheda riporta le valutazioni ed i quesiti ai quali in seguito il calcolo automatico darà risposta. Lo scopo di rendere palesi gli obiettivi di queste analisi era quello di responsabilizzare il richiedente anticipandogli il tipo di giudizio cui la sua proposta sarebbe stata sottoposta, ed inducendolo a fare in proposito alcune verifiche, nell'ottica di migliorare la qualità della proposta stessa);
- spiegazioni ed esempi (breve guida alla compilazione della scheda, talvolta corredata da esempi).

I dati contenuti nella scheda venivano inseriti per l'elaborazione elettronica su programmi che avevano già implementati dei dati generali di default, i quali effettuavano i calcoli e producevano una schermata di risposta contenente:

- la ripetizione dei dati d'ingresso (situazione esistente e sintesi della proposta);
- risposta ai quesiti di cui alla sezione "elaborazione a cura dell'ufficio".

La procedura automatica organizzava l'ordinamento di tutte le domande per poter predisporre i tabulati riepilogativi.

Elaborazione

La fase di elaborazione rappresentava il vero e proprio lavoro di valutazione di ogni singolo caso sottoposto all'analisi, secondo i dati della relativa scheda tecnica. Gli aspetti analizzati erano i seguenti.

Fondatezza dei dati comunicati

In automatico veniva analizzata la coerenza dei dati comunicati e veniva verificata la presenza di dati manifestamente sbagliati. L'analisi era mirata ad evidenziare situazioni non corrette che, se accettate come tali,



avrebbero inficiato i successivi giudizi qualitativi.

Energia risparmiata all'anno

Il dato derivava da un calcolo tecnico basato sui dati d'ingresso della scheda e quelli di carattere generale. Il dato era indicato in tep/anno (tonnellata equivalente di petrolio = 107 kcal).

Rapporto "energia risparmiata/precedente consumo"

Calcolato in base alla precedente valutazione e ai dati comunicati per la situazione esistente. Indice qualitativo della validità energetica dell'intervento proposto, assunto dalla legge quale soglia all'ammissione al contributo per alcune tipologie di intervento.

Rapporto "energia risparmiata all'anno/investimento"

Quoziente fra il risparmio annuo di energia e l'investimento previsto dal richiedente. Indice qualitativo della validità tecnico/economica dell'intervento proposto, che presentava però l'inconveniente di prescindere dalla "durata" dell'intervento.

Valore Attuale Netto (VAN) dell'investimento/investimento

Calcolato secondo le formule classiche in base ai risultati precedenti e a vari parametri di carattere generale da definire da parte dell'autorità di controllo. Indice quantitativo della validità tecnico/economica dell'intervento proposto.

Rispetto dei vincoli della legge

La legge 308 prevedeva alcuni vincoli specifici per l'ammissione alla concessione del contributo e precisamente:

- per gli interventi in industria e in agricoltura che il rapporto "risparmio di energia/precedente consumo" fosse maggiore di 0,15;

- per gli interventi di coibentazione in edilizia che il suddetto rapporto fosse maggiore di 0,20;
- per l'impiego di una pompa di calore in edilizia che il suddetto rapporto fosse maggiore di 0,3;
- per la sostituzione di caldaia in edilizia un rendimento dato (85% per funzionamento ciclico, 90% per funzionamento a regime);
- che l'aumento delle coibentazioni in edilizia fosse conforme ai dati della tabella A della legge.

Se una di tali condizioni non fosse stata rispettata, la risposta del calcolatore sarebbe stata negativa.

Dati generali d'ingresso

I dati di ingresso richiesti, la cui determinazione e aggiornamento era lasciata alle cure delle Autorità di controllo, si riferivano a:

- fattore di annualità dell'investimento
- costi di combustibili, energia elettrica, servizi di manutenzione;
- dati climatici quali: insolazione massima giornaliera, insolazione annua, gradi-giorno, DT ai sensi della legge 373. Il programma ammette che ciascuna Regione preveda varie fasce climatiche per ciascuna delle quali ogni regione può fornire o rispettivi set di valori.

Ordinamento delle proposte

Le Regioni potevano istituire per ciascun settore (Industria, Edilizia, Agricoltura) dei gruppi omogenei di proposte fra i quali restringere la competizione.

Per ciascuno di tali gruppi la Regione indicava:

- i fondi complessivi destinati al gruppo;
- i fondi destinati al gruppo nella specifica tornata di aggiudicazione;
- la percentuale del contributo ammesso;



- il valore minimo dell'indice di qualità per l'ammissione al contributo.

L'uso di tali indicazioni era lo strumento con cui le Regioni potevano manifestare i loro orientamenti di preferenza per alcuni interventi rispetto ad altri. Il calcolatore eseguiva per ciascun gruppo omogeneo le classifiche delle varie proposte segnalando l'esaurimento dei fondi impegnati o l'esaurimento delle proposte con indice di qualità sufficiente, in questo ultimo caso era indicato l'eventuale residuo di fondi non assegnato.

Discrezionalità della Autorità di controllo

L'Autorità di controllo poteva manifestare il proprio potere discrezionale in modo determinante durante le seguenti fasi decisionali:

- con l'appropriata scelta dei dati di carattere generale, che in molti casi avevano rilevanza nella formulazione degli indicatori di valutazione;
- nella scelta, fra quelli proposti e resi disponibili, dell'indice di qualità ritenuto più pertinente come metro di giudizio;
- nell'istituzione degli specifici gruppi omogenei nell'ambito di ciascuno dei quali il calcolatore redigeva le relative classifiche di assegnazione;
- nell'indicazione per ciascun gruppo omogeneo:
 - dei fondi assegnati;
 - della percentuale di contributo;
 - del valore minimo dell'indice di qualità che ammetteva al contributo;
- nell'indicazione di un moltiplicatore del tetto di contributo in particolare per gli interventi in edilizia.

Metodologia a valere sui fondi MICA

L'erogazione dei contributi era sottoposta a norme procedurali dettate da appositi decreti ministeriali (p. es. il decre-

to MICA 24 luglio 1982 per l'applicazione dell'articolo 10).

Gli studi di fattibilità tecnico-economica, i progetti esecutivi o le proposte per la costruzione e lo sviluppo di impianti ammissibili a contributo erano sottoposti ad una istruttoria tecnica svolta dal MICA con l'ausilio di ENEA, ENEL, organismi universitari o altri enti, istituti ed associazioni specificamente qualificati.

Le domande di concessione dovevano essere corredate da una relazione contenente tutte le informazioni generali e specifiche che il richiedente ritenesse utili per la completa e corretta valutazione. Le domande di contributo per studi di fattibilità, progetti esecutivi o realizzazione di iniziative dovevano indicare il costo del progetto ed essere accompagnati da uno studio di fattibilità redatto in conformità all'allegato A del decreto 24/7/82. A loro volta, i progetti esecutivi dovevano essere redatti in conformità all'allegato B dello stesso decreto.

L'istruttoria valutava le domande in base ai risultati tecnico-economici attesi, al risparmio energetico, alla diversificazione delle fonti primarie di energia, alla sicurezza dell'approvvigionamento energetico ed in base alla congruità del piano economico-finanziario previsto. Le prassi valutative non erano formalizzate in procedure automatiche di calcolo.

La valutazione era effettuata da un comitato istituito con decreto del ministro del MICA, composto da tre rappresentanti dello stesso ministero, da un rappresentante, rispettivamente, del Ministero della Ricerca Scientifica, del Ministero del Bilancio, del Ministero del Tesoro, del CNR, dell'ENI, dell'ENEA, dell'ENEL e della Confindustria. Il comitato esaminava le domande con cadenza trimestrale.



Il metodo per l'applicazione della legge 10/91

Metodologia di valutazione per gli articoli di competenza regionale

Così come la legge 308/82, anche la legge 10/91 individuava nelle Regioni e nel Ministero dell'Industria, del Commercio e dell'Artigianato (MICA) i due canali per il trasferimento dei finanziamenti ai soggetti richiedenti. In particolare, nel caso della legge 10/91:

- le regioni gestivano i fondi a valere sull'art. 8 (utilizzo delle fonti rinnovabili di energia in edilizia), sull'art. 10 (contenimento dei consumi energetici nei settori industriale, artigianale e industriale) e sull'art. 13 (fonti rinnovabili di energia nel settore agricolo);
- il MICA gestiva i fondi a valere sull'art. 11 (risparmio di energia ed utilizzazione di fonti rinnovabili di energia), sull'art. 12 (progetti dimostrativi), e sull'art. 14 (riattivazione e costruzione di nuovi impianti idroelettrici).

Diversamente dalla legge 308, la quale consentiva alle Regioni di avvalersi o meno della collaborazione di ENEL, ENI, ENEA e CNR, l'art. 4 del decreto di attuazione 15 febbraio 1991 prescriveva che le Regioni si avvalessero, "per il calcolo del risparmio energetico e la quantificazione del criterio di valutazione principale, della metodologia appositamente predisposta dall'ENEA".

La metodologia fornita dall'ENEA era sostanzialmente quella della legge 308, con i dovuti aggiustamenti richiesti dal nuovo programma informatico di gestione, basato su un diverso sistema operativo (da PCOS a MS-DOS) e dall'aggiunta di nuove schede per tener conto delle indicazioni della legge.

In particolare, per gli interventi in industria era prevista la scheda "aperta", sostituita per gli interventi in edilizia dalla scheda "Trasformazione di impianto termico - ET". Anche in questo caso era richiesta una descrizione dell'intervento da valutarsi caso per caso al di fuori della procedura in automatico.

Le schede erano strutturate come quelle della legge 308. Le differenze del metodo 10/91 consistevano principalmente in aggiustamenti per rendere più puntuali i calcoli di risparmio energetico e in un'integrazione dei dati generali di ingresso. In particolare è stata eliminata la richiesta dei dati di tipo economico (costo personale, tariffe elettriche, costo combustibile ecc.), dal momento che la nuova procedura, eliminando il Valore Attuale Netto, adottava come unico Indice di Valutazione Principale il rapporto tra i GJ risparmiati nell'arco della vita dell'intervento e l'investimento ammissibile.

Il rendimento di combustione per il riscaldamento di edifici veniva calcolato automaticamente in funzione della potenza del generatore, dipendendo inoltre dalla data di entrata in funzione dell'impianto. È stato inoltre introdotto un rendimento di combustione per riscaldamento di acqua calda sanitaria, imposto di default dalla procedura. Per diverse schede in edilizia era richiesto direttamente il fabbisogno energetico dell'edificio ed il consumo effettivo medio degli ultimi tre anni.

Metodologia a valere sui fondi MICA

Le modalità per la concessioni dei contributi MICA erano descritte nei tre decreti ministeriali 17 luglio 1991, ognuno per ogni articolo di pertinenza, rispettivamente:



- l'art. 11, per iniziative finalizzate al risparmio energetico e all'utilizzazione di fonti rinnovabili di energia assimilate (centrali di cogenerazione, impianti per la generazione di energia, modifica e/o ristrutturazione di impianti industriali, nuovi impianti industriali);
- l'art. 12, per la progettazione e realizzazione di impianti con caratteristiche innovative per aspetti tecnici e/o gestionali e/o organizzativi;
- l'art. 14, per iniziative volte alla riattivazione, costruzione e potenziamento di impianti idroelettrici.

Come nel caso degli analoghi articoli della legge 308/82, anche in questo caso, a fronte di una domanda da compilarsi secondo format predefiniti, l'istruttoria veniva condotta da apposite commissioni. Grazie all'accordo di programma in essere ai primi anni 90, il MICA affidò l'istruttoria tecnica all'ENEA.

Riguardo l'ammissibilità delle istanze, venivano poste delle soglie per le iniziative sull'art. 11 (almeno 0,2 tep risparmiate per milione di lire di investimento ammissibile) e sull'art. 14 (almeno 10.000 kWh di energia elettrica producibile su un arco di trenta anni, per milione di lire di investimento ammissibile).

Dal punto di vista metodologico, le istanze sull'art. 11 erano le più complesse da valutarsi. In pratica il richiedente, oltre a fornire tutte le informazioni e i dati significativi riguardanti l'iniziativa (schemi di impianto, assorbimenti energetici, caratteristiche termodinamiche dei fluidi vettori, specifiche dei principali componenti, tempi di realizzazione ecc.) doveva calcolare degli indici di merito (risparmio di energia per unità di capitale investito, sia annuale che riferito all'intera vita; VAN), il cui metodo di calcolo variava a seconda il tipo di intervento. Ovvia-

mente simili indici di merito erano, oltre alle altre informazioni fornite dal richiedente, oggetto di verifica in sede di controllo a seguito dell'erogazione del contributo.

Il Software RECAL 10 per l'Edilizia
L'art. 28 della legge 10/91 ha stabilito l'obbligo di presentare al Comune, prima dell'inizio dei lavori, il progetto e la relazione tecnica sul rispetto delle prescrizioni relative al contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento degli edifici civili. I decreti applicativi della Legge e le norme UNI hanno stabilito, nel dettaglio, tutti i parametri da calcolare ed il modo per farlo.

La complessità dei calcoli richiesti ha suggerito all'ENEA, che ha collaborato alla formulazione del complesso normativo, la realizzazione di un software (RECAL 10) con il quale il professionista potesse svolgere in maniera guidata le operazioni necessarie al progetto termotecnico di:

- edifici di nuova costruzione o ristrutturazione;
- impianti nuovi in edifici esistenti o ristrutturazione di impianti;
- sostituzione di generatori di calore.

RECAL 10, data la sua complessità e modularità, consiste in un "pacchetto" informatico, formato da più programmi eseguibili, da una banca dati e da una guida in linea.

Scopo del software era quello di fornire uno strumento che avesse anche caratteristiche di facilità d'uso e di scarso impegno di risorse hardware, tali da renderlo accessibile al maggior numero possibile di progettisti.

Il Software RECAL 10 - versione per i Comuni

Per gli uffici tecnici comunali, è stata realizzata una versione dedicata del pro-



gramma per consentire un rapido controllo delle relazioni tecniche presentate e facilitare la procedura di deposito. Con i dati contenuti nella relazione tecnica del progettista, il programma eseguiva una verifica di massima della correttezza del progetto termotecnica e in particolare del calcolo del Cd, del FEN e del rendimento globale medio stagionale.

Al termine dell'elaborazione si presentavano tre opzioni:

- sicuramente rispetta le normative;
- sicuramente non rispetta le normative;
- non si è in grado di determinare con sicurezza la conformità.

In quest'ultimo caso occorre procedere al calcolo termotecnico analitico, da effettuarsi con la versione per professionisti del pacchetto software destinato ai Comuni. Il software permetteva inoltre di facilitare alcune operazioni gestionali come la stampa della dichiarazione di avvenuto deposito e l'archiviazione, per successive elaborazioni, tutti i dati del progetto.

Certificati bianchi Decreti 2001/2004

Considerazioni generali

Il riferimento normativo attuale, per il risparmio energetico, sono i Decreti Ministeriali 20 luglio 2004, con cui è stato definito un meccanismo che associa ai risparmi di energia primaria certificati, l'emissione di Titoli di Efficienza Energetica (TEE o Certificati Bianchi CB) possibile oggetto di commercializzazione. A differenza della legislazione precedente, maggiormente caratterizzata da interventi proposti su base volontaria e provvista di incentivi, il meccanismo espresso dai decreti 2004 si inquadra in un ambito complesso in cui si incontrano sia lo spirito dell'obbligo (command and control) sia l'iniziativa volontaria.

Nello scenario proposto dai decreti, l'obbligo di perseguire il risparmio energeti-

co può tradursi o meno in una opportunità di guadagno per gli attori preposti, secondo l'interazione di tre elementi:

- la curva di costo del risparmio;
- le decisioni pubbliche riguardo il livello dell'obbligo di risparmio da promuovere e il livello dell'incentivo concesso;
- la strategia scelta dai distributori in relazione alla possibilità di farsi direttamente carico dell'investimento per il risparmio (es. lampadine, miscelatori, ecc.); eseguire iniziative di risparmio energetico che consentano (almeno in parte) un ritorno economico diretto; acquistare i CB da terzi, cedendo (almeno in parte) i benefici del risparmio.

Le linee generali dettate dai Decreti 2004 possono essere individuate nei seguenti punti:

- definire gli obiettivi nazionali di risparmio di energia primaria a carico dei distributori di energia elettrica e di gas;
- definire le modalità attraverso le quali i distributori possono conseguire gli obiettivi, segnatamente le tipologie di interventi e il mercato dei titoli;
- prevedere la possibilità di un contributo tariffario alla copertura dei costi sostenuti dai distributori;
- introdurre sanzioni in caso di inadempienza;
- affidare all'Autorità per l'Energia, l'Elettricità e il Gas (AEEG) il compito di definire i criteri, le regole tecniche di funzionamento del nuovo impianto normativo e la gestione dell'intero meccanismo.

La metodologia

Nel corso del 2004/2005 l'AEEG ha messo a punto la metodologia con cui attivare il risparmio energetico previsto dai decreti ed ha iniziato l'attività di verifica delle prime proposte formulate.



Come per la normativa precedente, anche qui il risparmio è calcolato dal confronto tra due situazioni ante/post intervento ed espresso con un indice (IRE), ma gli scenari sono del tutto differenti; in questo caso si interviene esclusivamente (o quasi) sugli usi finali e la metodologia di calcolo non determina una graduatoria con cui distribuire gli incentivi, ma individua e premia tutti i risparmi che superano una determinata soglia.

Più complesse e stringenti sono anche le condizioni di calcolo che si avvalgono di schede standardizzate e di dati provenienti da programmi di misura accertati; e come condizione ante intervento fanno riferimento ad una baseline media di mercato. Di seguito si riportano i concetti e i principi di base.

Chi può presentare un progetto

I progetti e le relative richieste di verifica e certificazione dei risparmi energetici possono essere presentati all'Autorità unicamente dai soggetti che, secondo i DM 2004, possono conseguire titoli di efficienza energetica a seguito della realizzazione di risparmi energetici:

- distributori di energia elettrica e di gas naturale (anche non soggetti ad obblighi);
- società controllate dai distributori di energia elettrica e di gas naturale;
- società operanti nel settore dei servizi energetici (ESCO).

Metodi di valutazione dei risparmi

- Standard (in base a scheda tecnica deliberata dall'AEEG), i risparmi sono calcolati solo in base al numero di unità fisiche di riferimento (UFR) oggetto di intervento (es.: numero di CFL installate);
- Analitici (in base a scheda tecnica deliberata dall'AEEG), i risparmi sono calcolati in base ad un algoritmo e alla misura di pochi parametri di funzionamento del sistema considerato.

- Consuntivo (in base a Proposta di progetto e di Programma di misura presentata dal titolare).

La Proposta di progetto e di programma di misura è una procedura da utilizzare nel caso non siano disponibili schede tecniche di valutazione standardizzate o analitiche; consiste nella descrizione dell'intervento e delle modalità di misurazione e di calcolo che si propone di adottare per effettuare la valutazione dei risparmi di energia primaria; i risparmi sono calcolati in base ad un piano di monitoraggio, che tiene in debita considerazione tutti i fattori esterni che possono influenzare il risparmio.

Per i metodi di valutazione standard ed analitici a tutt'oggi l'Autorità ha deliberato 22 schede tecniche (Box 5), inerenti le seguenti tematiche:

- sistema edilizio (isolamenti, vetrate, solare termico e fotovoltaico);
- apparecchi domestici (elettrodomestici, condizionatori, caldaie, scaldabagno, pompe di calore, erogatori a basso flusso, rompigetto aerati);
- illuminazione pubblica e privata;
- sistemi di cogenerazione e teleriscaldamento.

Possibilità di aggregazione di più interventi

In relazione al metodo di valutazione degli interventi, i progetti possono essere definiti come standard, analitici o a consuntivo secondo uno schema di aggregazione che tiene conto del numero dei clienti:

La dimensione minima di un progetto

Ogni progetto deve aver prodotto un ammontare minimo di risparmi di energia primaria per dare accesso alla richiesta di certificazione di tali risparmi.

Il rispetto della dimensione minima viene verificato solo nell'ambito della prima verifica di richiesta e certificazione dei risparmi energetici (RVC).



Box 5 - Decreti 2001/2004 Le schede tecniche

- Scheda n. 1 Sostituzione di lampade ad incandescenza con lampade fluorescenti compatte con alimentatore incorporato.
- Scheda n. 2 Sostituzione di scaldacqua elettrico con scaldacqua a metano a camera stagna e accensione piezoelettrica.
- Scheda n. 3 Nuova installazione di caldaia unifamiliare a 4 stelle di efficienza alimentata a gas naturale.
- Scheda n. 4 Sostituzione di scaldacqua a gas, a camera aperta e fiamma pilota con scaldacqua a gas, a camera stagna e accensione piezoelettrica.
- Scheda n. 5 Sostituzione di vetri semplici con doppi vetri.
- Scheda n. 6 Isolamento delle pareti e delle coperture.
- Scheda n. 7 Impiego di impianti fotovoltaici di potenza elettrica inferiore a 20 kW
- Scheda n. 8 Impiego di collettori solari per la produzione di acqua calda sanitaria.
- Scheda n. 9 Installazione di sistemi elettronici di regolazione di frequenza (inverter) in motori elettrici operanti su sistemi di pompaggio con potenza inferiore a 22 kW.
- Scheda n. 10 Recupero di energia elettrica dalla decompressione del gas naturale.
- Scheda n. 11 Installazione di motori a più alta efficienza.
- Scheda n. 12 Sostituzione di frigoriferi, frigocongelatori, congelatori, lavabiancheria, lavastoviglie con prodotti analoghi a più alta efficienza.
- Scheda n. 13a Installazione di erogatori per doccia a basso flusso (EBF) in ambito residenziale.
- Scheda n. 13b Installazione di erogatori per doccia a basso flusso (EBF) in alberghi e pensioni.
- Scheda n. 13c Installazione di erogatori per doccia a basso flusso (EBF) in impianti sportivi.
- Scheda n. 14 Installazione di rompigitto aerati per rubinetti (RA) in ambito residenziale.
- Scheda n. 15 Installazione di pompe di calore elettriche ad aria esterna in luogo di caldaie in edifici residenziali di nuova costruzione o ristrutturati.
- Scheda n. 16 Installazione di sistemi elettronici di regolazione di frequenza (inverter) in motori elettrici operanti su sistemi di pompaggio con potenza superiore o eguale a 22 kW.
- Scheda n. 17 Installazione di regolatori di flusso luminoso per lampade a vapori di mercurio e lampade a vapori di sodio ad alta pressione negli impianti adibiti ad illuminazione esterna.
- Scheda n. 18 Sostituzione di lampade a vapori di mercurio con lampade a vapori di sodio ad alta pressione negli impianti di Pubblica Illuminazione.
- Scheda n. 19 Installazione di condizionatori ad aria esterna ad alta efficienza con potenza frigorifera inferiore a 12 kWf.
- Scheda n. 20 Isolamento termico delle pareti e delle coperture per il raffrescamento estivo in ambito domestico e terziario.
- Scheda n. 21 Applicazione nel settore civile di piccoli sistemi di cogenerazione per la climatizzazione invernale ed estiva degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria.
- Scheda n. 22 Applicazione nel settore civile di sistemi di teleriscaldamento per la climatizzazione degli ambienti e la produzione di acqua calda sanitaria.

Tabella 1 - Metodi di valutazione degli interventi

Numero di clienti	Metodi di valutazione omogenei			Metodi di valutazione eterogenei
	Standardizzati	Analitici	A consuntivo	
Cliente unico	Progetto standardizzato	Progetto analitico	Progetto a consuntivo	Progetto a consuntivo
Numerosi clienti	Progetto standardizzato	Progetto analitico	Progetto a consuntivo	Progetto a consuntivo

Tabella 2 - Dimensione minima dei progetti

Tipologia di Progetto	Soggetti obbligati	Soggetti volontari
Standardizzato	25 tep/anno	
Analitico	100 tep	50 tep
A consuntivo	200 tep	100 tep

Tempistiche

La vita utile convenzionale degli interventi, ossia il numero massimo di anni per i quali possono venire certificati i risparmi e rilasciati i TEE, è così stabilita:

- 5 anni per tutti i tipi di interventi;
- 8 anni per gli interventi specificati dai DM 2004 relativi all'involucro edilizio.

La certificazione dei risparmi (e la conseguente emissione dei TEE) avviene solo a seguito della presentazione della prima richiesta di verifica e certificazione (RVC), prima richiesta che può essere presentata solo al raggiungimento della dimensione minima.

Le tempistiche di presentazione delle RVC (prima e seguenti) e del conseguente rilascio dei TEE, differiscono per i progetti standardizzati, analitici ed a consuntivo:

Per i progetti standardizzati,

- la prima RVC deve essere presentata entro 30 giorni dalla fine del semestre nel quale il progetto ha raggiunto la dimensione minima,
- le RVC successive alla prima devono venire presentate solo nel caso di UFR addizionali, entro 30 giorni dalla fine del trimestre nel quale tali UFR sono state oggetto di intervento,
- la persistenza dei risparmi energetici generati dalle UFR nel corso della vita uti-

le convenzionale dell'intervento è automaticamente riconosciuta dopo la prima RVC ad essa relativa; la certificazione automatica avviene ogni tre mesi.

Per i progetti analitici,

- la prima RVC deve essere presentata entro 30 giorni dalla fine del semestre nel quale il progetto ha raggiunto la dimensione minima,
- le RVC successive alla prima possono essere presentate 30 giorni dalla fine di ciascun trimestre; comunque devono essere presentate una volta all'anno,
- la persistenza dei risparmi energetici generati dall'intervento nel corso della vita utile convenzionale non può essere automaticamente riconosciuta dopo la prima RVC ad essa relativa; la verifica e certificazione avviene solo a seguito della presentazione della relativa RVC (almeno una volta all'anno).

Per i progetti a consuntivo,

- la prima RVC e quelle successive devono essere presentate entro i termini definiti nella proposta di progetto e di programma di misura approvata dall'Autorità,
- la persistenza dei risparmi energetici generati dall'intervento nel corso della vita utile convenzionale non può essere automaticamente riconosciuta dopo la prima RVC ad essa relativa; la ve-



rifica e certificazione avviene solo a seguito della presentazione della relativa RVC (almeno una volta all'anno).

Applicazione della metodologia

L'applicazione della metodologia per la richiesta dei TEE non presenta alcuna difficoltà per gli interventi che rientrano nei metodi di valutazione standard ed analitici; si tratta di compilare le due schede predisposte dall'Autorità per la Rendicontazione del Progetto e la Rendicontazione dell'Intervento; in pratica si tratta di descrivere l'intervento fornendo le opportune informazioni sopra accennate (scheda di riferimento, dimensione, tempistica).

Più complesso il caso dei Progetti a Consuntivo, soprattutto per gli aspetti inerenti l'algoritmo di calcolo proposto: affidabilità delle misure, baseline di riferimento, aggiustamenti.

- Algoritmi di valutazione per il calcolo dei risparmi
 - Il programma di misura proposto deve poter essere ricondotto alla tipologia di "metodo di valutazione a consuntivo" ai sensi di quanto previsto dall'articolo 6 della delibera n. 103/03, ovvero deve essere basato su misurazioni dei consumi effettuate sia prima sia dopo l'intervento.
 - Il sistema deve essere "isolato" oppure deve essere proposto un metodo per depurare le misure dai fattori non riconducibili agli interventi.
- Condizioni pre-installazione (baseline)
 - Deve essere descritta la configurazione pre-intervento, ovvero le condizioni che determinavano il livello di fabbisogno energetico in quella specifica condizione: è importante poter associare il valore dei consumi alle condizioni che li determinano.
 - Nel caso di "nuove installazioni" (ad es. realizzazione ex-novo di un edificio), non

esiste la configurazione pre-intervento: in tali casi le condizioni pre-intervento sono da ricondursi alla pratica corrente ("media di mercato") nello specifico settore e in quella specifica area geografica (provincia o comune), qualora rilevante.

- Identificazione della tecnologia "media di mercato": sulla base di indagini di mercato (preferibile), di letteratura tecnica (recente e specifica).

• Aggiustamenti

Devono essere evidenziate tutte quelle condizioni che differiscono dalle situazioni pre-intervento e post-intervento e che sono in grado di modificare la richiesta energetica a parità delle altre condizioni:

- i livelli "produttivi": variazioni nei livelli produttivi che determinano un maggiore/minore utilizzo di determinate apparecchiature (ad es. ampliamento di volumetrie o superfici da illuminare), variazioni strutturali, etc.;
- le condizioni ambientali, l'introduzione di nuovi standard minimi da normativa, etc.

• Addizionalità⁵

Le condizioni di pre-installazione non rappresentano, in generale, la soluzione "media di mercato" e quindi non è in generale possibile la valorizzazione completa dei risparmi, anche se misurati, tra tale situazione e quella successiva all'intervento; ovvero: solo la quota di minor consumo dei componenti, apparecchi, sistemi o tecniche costruttive utilizzati nell'ambito degli interventi rispetto a quelli "medi" disponibili sul mercato che siano idonei a svolgere le medesime funzioni, nel rispetto di tutte le normative in vigore, è utile ai fini della quantificazione dei risparmi.

I titoli di efficienza energetica certificano i risparmi energetici conseguiti, consentono la verifica del conseguimento degli obiettivi e l'erogazione del contributo tariffario a copertura degli oneri sostenuti; entro il 31 maggio di ogni anno (a partire dal 2006),

i distributori obbligati devono consegnare all'Autorità TEE equivalenti, in volume e tipologia, al proprio obiettivo annuale.

I TEE iscritti nel conto proprietà di ciascun soggetto sono commercializzabili nel mercato organizzato dal GME secondo le regole predisposte dall'Autorità, e anche attraverso contratti bilaterali.

Il ruolo dell'ENEA

In considerazione del ruolo e delle attività svolte sui temi del Risparmio Energetico, l'Autorità, con delibera 04/06, ha deciso di avvalersi dell'ENEA per lo svolgimento di una serie di attività:

- verifica e controllo degli interventi di risparmio energetico;
- approvazione di proposte di progetto e di programma di misura;
- elaborazione di schede tecniche per la valutazione standardizzata ed analitica degli interventi di risparmio energetico;
- aggiornamento delle schede tecniche esistenti.

Al di là delle analisi dei primi risultati quantitativi, mancano ancora alcuni elementi perché il disegno diventi pienamente operativo; per esempio, i distributori di gas con < 100.000 clienti non hanno ancora un obiettivo di risparmio e non sempre la misura del risparmio ha un riferimento ben individuato (baseline). Ulteriori elementi hanno bisogno di essere approfonditi alla luce dell'esperienza che sta maturando, per poter valutare appieno la validità del meccanismo attivato; per esempio, considerando che con l'aumento dell'efficienza energetica, l'ulteriore risparmio diventa più difficile tecnicamente e più oneroso finanziariamente, in quale misura è opportuno equilibrare il rapporto tra risparmio ed incentivo? Oppure, considerando che la tariffazione è contenuta dalla necessità di non aggravare complessivamente la bolletta elettrica dei consumatori, con la scelta di un va-

lore basso si ha l'effetto di incentivare quelle tecnologie che hanno un rapporto risparmio/investimento più favorevole.

Efficienza energetica: gli strumenti ENEA per la formazione e l'informazione

Lo sviluppo di strutture di informazione, istruzione e formazione che permettano la sensibilizzazione dei cittadini e la diffusione del "know-how" e delle migliori pratiche, rientra nelle azioni chiave per organizzare qualsiasi programma nel settore dell'energia, che rifletta gli obiettivi attuali di sviluppo sostenibile e di sicurezza dell'approvvigionamento. Tale azione chiave è richiamata nella direttiva 2006/32/CE all'art. 7 e costituisce un preciso impegno per i Paesi membri. Nel corso del tempo, l'ENEA ha realizzato iniziative, prodotti e servizi tesi alla divulgazione di informazioni rilevanti sia a beneficio dei decisori sia degli operatori economici sia dei cittadini. Si richiamano in questa sezione solo alcune delle azioni più significative e solo a titolo esemplificativo del ruolo interpretato dall'Ente in questo ambito.

Strumenti informatici di diagnostica energetica

INCAS

Il programma INCAS -Diagnosi energetica degli edifici residenziali- consente di valutare la convenienza e la pertinenza di interventi destinati al contenimento dei consumi energetici per il riscaldamento di edifici residenziali.

La sua caratteristica fondamentale è la facilità d'uso: le caratteristiche edilizie e degli impianti di riscaldamento sono tradotti in dati di semplice determinazione. Partendo da un numero limitato di informazioni generali e sulle diverse parti della struttura edilizia, il programma simula gli effetti dei possibili interventi calcolandone sia il risparmio energetico che il costo.



Come risultato si ottiene un elenco di interventi "convenienti", cioè che permettono un guadagno in termini di minor spesa per il riscaldamento, tenendo conto dell'investimento e della durata dell'intervento. Il guadagno viene stimato mediante l'indicatore economico VAN (Valore Attuale Netto), che consente di valutare, ad oggi, i benefici economici futuri al netto dell'investimento iniziale. Il programma contiene delle banche dati con le caratteristiche tecniche ed economiche degli interventi proponibili. L'utente può scegliere di usare quelle standard oppure, in modo estremamente semplice, modificare od aggiungere nuovi interventi e materiali.

ERS

Il programma ERS - Energy ReStyling degli edifici residenziali e del terziario - consente di scegliere gli interventi più opportuni da effettuare su un edificio per ridurre il consumo energetico per il riscaldamento ed il raffreddamento.

Con ERS è possibile effettuare diagnosi energetiche di edifici il cui profilo d'uso e gestionale si differenzia, anche sostanzialmente, da quello abitativo, come avviene nel caso di scuole, uffici, esercizi commerciali.

Fra le particolarità di ERS è rilevante la facilità d'uso e la semplicità di reperimento dei dati di input che, per evitare errori, vengono accettati dal programma solo dopo un controllo di congruenza.

Dopo la fase di immissione dati, il programma verifica i possibili interventi di risparmio energetico effettuabili su ogni parte della struttura edilizia, sull'impianto termico e su quello di raffrescamento, e per ognuno viene calcolato il risparmio sia energetico che economico. I risultati vengono selezionati in base alla convenienza dell'intervento: vengono presentati solamente quelli per i quali il VAN risulta positivo. Questo indicato-

re economico consente di valutare ad oggi i benefici economici futuri (minor spesa per il riscaldamento e raffrescamento), al netto dell'investimento necessario.

La stima dei vantaggi economici deriva sia dalle caratteristiche tecniche e di durata dell'intervento che dal suo costo. Il programma attinge queste informazioni da banche dati interne che possono essere personalizzate modificando i valori standard.

ECU

Il programma ECU - Energy Check-Up degli edifici e degli impianti del terziario - è uno strumento per effettuare diagnosi energetiche nel settore dei servizi.

Con ECU è possibile, partendo da situazioni reali, simulare interventi di razionalizzazione energetica, verificarne la fattibilità e la convenienza in termini sia tecnici che economici.

Il settore terziario comprende attività molto eterogenee con problematiche che variano, dal punto di vista del contenimento dei consumi, da quelle tipiche del settore residenziale a quelle dell'industria. ECU affronta la diagnosi energetica di un'azienda mediante l'applicazione di schede indipendenti per ogni tipo di intervento, in modo da poter configurare ed affrontare il maggior numero possibile di casi concreti. Sulla base dei dati immessi, per ogni provvedimento di risparmio energetico, viene analizzata la convenienza, considerando come indicatore economico il VAN dell'investimento.

Ad integrazione e supporto del procedimento analitico delle singole schede, vengono altresì fornite indicazioni di carattere qualitativo utili per meglio inquadrare la specifica tematica energetica.

Pur non affrontando in maniera esaustiva tutte le tematiche inerenti gli aspetti energetici nel terziario, ECU rappresenta un potente strumento, completo e flessibile per l'analisi preventiva delle potenzia-



lità di risparmio energetico per aziende del terziario.

Corsi di formazione

L'ENEA sviluppa strumenti per la formazione e l'aggiornamento professionale nel campo dell'uso razionale dell'energia dai primi anni 80.

Nell'arco degli anni è stato strutturato un portafoglio di corsi estremamente diversificato per tematiche, destinatari e durata. I corsi sono in genere rivolti a tutti quei professionisti che vogliono ampliare i propri campi di intervento, consentendo loro di affrontare le problematiche caratteristiche di ogni contesto industriale, civile o terziario, nel campo dell'energy management.

In genere durante i corsi vengono trattati i seguenti argomenti:

- la corretta gestione dei consumi energetici e degli aspetti correlati di interazione ambientale;
- nozioni fondamentali sulla legislazione energetica ed ambientale e le normative tecniche;
- indicazioni di applicazioni pratiche per affrontare e risolvere i problemi e le

situazioni specifiche delle varie strutture produttive e di servizio.

Nella tabella 3 vengono riportate le tipologie di corsi sviluppate fino ad oggi. In genere per ogni corso vengono prodotti anche i relativi supporti informativi (CD-rom, dispense, libri, audiovisivi).

FIRE

L'ENEA nel 1988 ha costituito insieme all'AIGE (Associazione italiana per la Gestione dell'Energia) e all' EMC (Energy Manager Club), la FIRE, associazione tecnico-scientifica senza finalità di lucro, il cui scopo è promuovere l'uso razionale dell'energia e diffondere le relative informazioni nel settore. La FIRE opera primariamente grazie al contributo dei propri soci, cui si aggiungono le collaborazioni con soggetti terzi istituzionali e privati, il supporto da parte dell'ENEA e la collaborazione con l'Isnova. A seguito delle disposizioni della legge 10/91 che estendeva la nomina del responsabile per la gestione dell'energia anche ai settori civile e trasporti, oltre che all'industria ove era già chiesto dalla legge 308/82, la FIRE ha ricoperto un ruolo fon-

Tabella 3 - Venti anni di corsi ENEA

Corso	num. edizioni	num. partecipanti	periodo
Specialisti in Gestione dell'Energia per medie e grandi organizzazioni	13	300	1985-90
Corsi di Energy management per piccola industria	40	800	1984-91
Corsi per verificatori di caldaie ai sensi della legge 373/76	5	150	1987-88
Corsi per risparmio energetico in edilizia	30	600	1985-94
Corsi di formazione per tecnici regionali per l'applicazione della legge 10/91	5	100	1991-93
Corsi per Ferrovie dello Stato, Trenitalia, Telecom	6	125	1998-01
Corsi per Energy Manager nei settori industria, civile, terziario	40	2.000	1998-06
Seminari di approfondimento	3	150	2005-06
Corsi per verificatori di impianti termici	120	2.500	1996-06
Corsi per progettisti di impianti termici	100	4.000	1995-06
Corsi per progettazione sistema edificio-impianto secondo la legge 10/91	150	6.000	1995-06
Corsi per controllo delle relazioni tecniche previste dall'art. 28 della legge 10/91 (per tecnici comunali)	150	6.000	1995-06
TOTALI	662	22.725	



damentale nel curare l'archivio delle comunicazioni di nomina e i contatti con i responsabili nominati; oggi esiste una rete di 2500 responsabili. Si tratta di un patrimonio di competenze a disposizione del Paese, benché la rete non sia mai stata ufficialmente utilizzata dai governi nazionali e regionali.

Campus per l'energia

Tra le più recenti iniziative ENEA per la diffusione e divulgazione della cultura dell'efficienza energetica, si annovera Campus per l'energia, modulo tecnico-informativo con cui l'ENEA si propone come facilitatore del processo di comunicazione tra i soggetti interessati, in un ambiente favorevole all'attività di approfondimento, di condivisione dei contenuti e all'analisi congiunta delle problematiche energetiche emergenti.

Campus per l'energia è rivolto a funzionari e tecnici degli Enti locali; Agenzie energetiche locali; Aziende distributrici di vettori energetici; Società private e partecipate (ex municipalizzate) coinvolte nel processo di razionalizzazione del sistema energetico.

Il Campus si articola attraverso *sessioni di aggiornamento* - curate da esperti ENEA e di altri organismi pubblici, da esponenti degli organi del Governo centrale e periferico - dedicate all'illustrazione degli scenari energetici che si vanno delineando a livello globale, europeo e nazionale; all'aggiornamento normativo; all'esame di nuovi indirizzi e tendenze; alla presentazione di esperienze pilota realizzate sul territorio nazionale; alla valutazione di casi studio e best practices dal forte contenuto innovativo, selezionati in ambito europeo.

Pubblicazioni

L'ENEA ha accompagnato la sua azione di informazione, formazione e diagnosi sull'uso razionale dell'energia con oltre cento

pubblicazioni, la cui tipologia va dal manuale di settore al libro di testo relativo ad uno specifico corso di formazione, dal più semplice opuscolo divulgativo alla presentazione di casi di studio. Nel corso del tempo ci si è ispirati alla volontà di soddisfare le esigenze di una platea di utenti molto vasta, che va dal grande pubblico al tecnico installatore, dal funzionario della pubblica amministrazione al professionista, adattando di conseguenza forme e contenuti dei materiali prodotti.

I dati sulla distribuzione si attestano sulle 50.000 copie per i manuali e i casi studio, e un numero largamente superiore per gli opuscoli e i depliant.

ENEA - Dipartimento Ambiente, Cambiamenti globali e Sviluppo sostenibile

Per informazioni
romani@casaccia.enea.it

Note

1. Il metodo di calcolo «top-down» prevede che la quantità di risparmi energetici sia calcolata utilizzando come punto di partenza i livelli di risparmio energetico nazionali o livelli settoriali più aggregati. Questo metodo non fornisce misurazioni esatte a livello dettagliato, né indica rapporti di causa ed effetto fra misure e risparmi energetici che ne derivano.

2. Il metodo di calcolo «bottom-up» consente di misurare in modo analitico i risparmi energetici ottenuti attraverso l'attuazione di una misura specifica di miglioramento dell'efficienza energetica.

3. "Fallimento di mercato" è una definizione ampia e generica usata dagli economisti per descrivere qualsiasi situazione nell'ambito della attività economica che produca esiti men che ottimali. I fallimenti di mercato giustificano l'intervento pubblico nel tentativo di migliorare l'efficienza del sistema economico.

4. I dati qui riportati sono tratti da ENEA, Rapporto Tecnico/STUDI-STRAT (88)/3 "Legge 308/82 Rapporto di Valutazione" a cura di E. D'Angelo e A. Percuoco.

5. La corretta applicazione di questo criterio determina la reale efficacia dell'intero meccanismo ed è garanzia di una incentivazione ottimale.

Cronache dall'Antartide

Giovanni Scabbia

Partecipare ad una spedizione scientifica in Antartide coinvolge anche fisicamente ed emotivamente nella scoperta della storia del nostro Pianeta. Le sintetiche esposizioni che seguono descrivono alcune tematiche direttamente approfondite dall'autore relative alle ricerche di punta del Programma Antartico



Nel gennaio e febbraio 2007 ho partecipato alla XXII spedizione del Programma Nazionale Ricerche in Antartide (PNRA), organizzata dal Consorzio per l'attuazione del PNRA, per perfezionare le mie esperienze nella logistica di campagne oceanografiche. Sono arrivato, a bordo della nave da ricerca antartica Italica, alla Base italiana Mario Zucchelli. Ho avuto modo di apprezzare l'efficiente attività gestionale e logistica messa in atto dal Consorzio per l'attuazione del Programma e di intervenire in alcune delle attività scientifiche che vengono svolte nel lontano continente antartico, quali il recupero e la messa a mare di una catena di strumentazioni nonché il lancio di sonde batitermografiche.

Come ricercatore ENEA e come cittadino italiano mi sono sentito orgoglioso di partecipare alle ricerche di punta del Programma Antartico, di vivere l'entusiasmo nello sviluppo di nuove proposte e di maturare la convinzione che una struttura, quale la Base

Chronicles from the Antarctic

The participants in a scientific expedition to Antarctica are involved both physically and emotionally in the discovery of our planet's history. This account describes some facets of the author's own experience in the Antarctic Program's advanced research projects



Mario Zucchelli, per le sue professionalità e competenze, debba essere sempre più conosciuta e apprezzata a livello nazionale, così come lo è a livello internazionale.

Ricordiamo che nel marzo 1981 l'Italia sottoscrive il Trattato Antartico e che la presenza italiana, in quel lontano e freddo continente, inizia nel 1985 con la firma della legge n. 284 che favorisce la partenza della prima spedizione antartica. Il programma di ricerca nazionale è indirizzato verso lo studio dei fenomeni globali che coinvolgono la geosfera, la biosfera, l'atmosfera e lo spazio interstellare.

Le sintetiche esposizioni che seguono descrivono alcune delle tematiche direttamente approfondite, mentre le informazioni riportate sono state sostanzialmente ricavate dalla copiosa e aggiornata documentazione messa a disposizione dal Consorzio PNRA (www.pnra.it), dalla Commissione Scientifica Nazionale per l'Antartide (www.csna.it) e da contatti con i responsabili scientifici delle attività.

Correnti oceanografiche ed il clima

Arrivando con la nave da ricerca antartica Italica dalla Nuova Zelanda a Baia

Terra Nova, (figure 1 e 6) si vive visivamente e fisicamente l'impatto con la corrente Circumpolare Antartica. La doppia cintura di ghiacci che occorre attraversare, con il sottofondo di cupi e sordi rimbombi dei ghiacci sulla prua della nave, manifesta la regolarità della circolazione oceanica mentre il lancio di particolari sonde (XBT e XCTD) conferma una sostanziale stabilità, negli anni, della temperatura delle acque fino ad alta profondità (1200 m).

L'Antartide è una zona importantissima per lo studio dell'origine delle correnti marine che, strettamente collegate alle correnti atmosferiche, sono essenziali per interpretare l'evoluzione degli aspetti climatici. Se si collegano tutte le grandi correnti del globo, si ottiene schematicamente una sorta di nastro trasportatore, il *conveyor belt*, che interessa tutti gli oceani e che è, assieme alle correnti atmosferiche, il responsabile della distribuzione del calore sulla Terra. Motore del movimento è lo sprofondamento di acque più dense che si formano in tre particolari aree della Terra: nel mare attorno all'Islanda (circa il 20% del totale) e nei due grossi golfi dell'Antartide chiamati Mare di Ross e Mare di Weddell responsabili ciascuno de-



Figura 1

Base Mario Zucchelli – La Base italiana si trova all'interno del Mare di Ross, nella Baia Terra Nova, alla latitudine di 74° 42' 51" Sud e alla longitudine di 164° 07' 23 Est. La sua costruzione è iniziata nel 1985. Attualmente può ospitare fino a 120 persone

riflettore su



gli altri due 40%. Queste aree, di relative piccole dimensioni, hanno particolari caratteristiche chimiche e fisiche legate a diversi aspetti locali: il forte vento catabatico (fino a 300 km/h, attorno ai 40 °C sotto zero e molto secco) che scende dall'alta calotta glaciale (oltre 3.000 m di quota) e spazza il ghiaccio dalla superficie del mare; l'evaporazione dell'acqua che raffredda ulteriormente l'acqua sottostante; l'aumento della salinità marina dovuta alla forte evaporazione. Proprio questi aspetti danno origine all'inabissarsi di masse d'acqua molto salata e fredda fino al fondo della grande Corrente Circumpolare Antartica. La massa d'acqua fredda si muove, indirizzata dalle caratteristiche topografiche, verso l'equatore percor-

rendo la costa Sud Americana, quella dell'Africa occidentale e quella dell'Australia occidentale. Una leggera modifica alla "sorgente" di queste correnti profonde, e di conseguenza delle correnti oceaniche, può avere importanti effetti sul clima di numerosi Paesi. Ricordiamo, ad esempio, l'importanza della Corrente del Golfo per l'Inghilterra ed i paesi nordici. Evidente, quindi, la necessità di monitorare attentamente e studiare le zone antartiche marine ove hanno origine le correnti.

La nave oceanografica utilizzata dai ricercatori italiani per il trasporto di materiale della Base viene altresì impiegata per studi in mare aperto con lanci di sonde, prelievi e analisi di acqua, recupero di biomasse, messa in mare di *mooring* (catene di strumentazioni, figura 2). Attività che contribuiscono, con sempre maggior precisione, a valutare e prevedere l'evoluzione climatica dell'intero pianeta.

Il vento solare, l'aurora polare e lo spazio interstellare

La zona panoramicamente più bella di tutta la Baia, su cui si affaccia la Stazione italiana, è sicuramente quella occupata dai laboratori dedicati al Progetto OASI (Osservatorio Antartico Submillimetrico Infrarosso). L'area sovrasta tutta la baia, spazia dal Monte Melbourne all'Inexpressible Island e permette di "toccare il cielo con un dito". È, infatti, di fronte a questo cielo limpido e terso che vengono portate avanti, alcune delle ricerche più avanzate che si sviluppano alla Base italiana: lo studio del vento solare, dell'aurora boreale e dello spazio interstellare.

È noto che la Terra viene irradiata continuamente dal sole ricevendo così l'ener-



Figura 2
Messa in mare di mooring – Il mooring si sviluppa con un insieme di strumentazioni, mareometri, correntometri, ecc. collegate ad una catena lunga decine o centinaia di metri che viene ancorata al fondale marino. Il comando allo sganciatore permette ad una boa di riportare in superficie la strumentazione



gia utile alla circolazione atmosferica ed oceanica nonché alla fotosintesi nella biosfera. La luce è solo una parte dell'emissione che arriva dal Sole, nel complesso le onde elettromagnetiche sono composte anche da onde radio, raggi X, ultravioletto, infrarosso, ecc. Oltre a questa emissione elettromagnetica il Sole è responsabile della emissione continua di un tenue gas ionizzato, il cosiddetto vento solare. Il vento solare è formato da una struttura corpuscolare, di protoni e di elettroni, che trascina con sé un campo magnetico interplanetario variabile. Incontrandosi con quello terrestre si genera una configurazione di equilibrio che può variare in funzione dell'attività solare. Studi particolari collegano il vento solare alle tempeste magnetiche, alle aurore polari, all'assorbimento di onde radio. L'Antartide è un perfetto laboratorio per ricerche astrofisiche sull'origine e la struttura dell'Universo, sulla formazione di galassie, stelle e pianeti, per lo studio di quasar e altri oggetti celesti. Troviamo infatti un esiguo spessore dell'atmosfera, una ridotta turbolenza, un bassissimo contenuto di vapor acqueo e nes-

suna interferenza delle attività antropiche. Dal 1986 alla Stazione italiana Mario Zucchelli sono state avviate osservazioni elettromagnetiche finalizzate all'interpretazione delle azioni del vento solare ed alle sue influenze sulla magnetosfera. Inoltre il telescopio OASI ha permesso di individuare la presenza di polvere fredda, con temperatura di pochi Kelvin, nelle due Nubi di Magellano e nella nostra Galassia nonché di ottenere informazioni sulle regioni di quest'ultima nelle quali sono in atto intensi processi di formazione stellare.

La storia del clima nelle carote di ghiaccio

Il continuo andare e venire degli aerei Tween Otter da Dome C e da Talos Dome ti ricorda il gruppo di ricercatori che, lavorando in condizioni estreme alla temperatura di diverse decine di gradi sottozero, stanno portando alla luce il più completo e dettagliato archivio storico dell'atmosfera terrestre e del clima: le carote di ghiaccio (figura 3).



Figura 3
Carotaggio ghiaccio – Interno del laboratorio di estrazione di una carota di ghiaccio di Talos Dome

I ghiacciai polari, caratterizzati da una temperatura inferiore a 0° C e quindi senza la presenza di acqua liquida che potrebbe modificare le caratteristiche chimiche, sono una fonte inesauribile di informazioni sulla vita del nostro pianeta (figura 5). Infatti vengono intrappolate nei vari strati di ghiaccio piccole bolle d'aria, polveri eoliche, vulcaniche e cosmiche che permettono di risalire alle temperature del pianeta fino a centinaia di migliaia di anni fa.

Alla base russa di Vostok, a 78° S e 106° E, e a 3.488 m sul livello del mare, è stata estratta la più profonda carota di ghiaccio di 3.623 metri di lunghezza. Per verificare le concentrazioni del gas serra CO₂, quelle del gas serra metano, le variazioni del rapporto isotopico dell'ossigeno contenuto nei gas atmosferici intrappolati nel ghiaccio ed esaminare con maggior dettaglio l'evoluzione naturale della composizione dell'atmosfera e del clima, è stato portato a termine un programma internazionale, il progetto EPICA (*European Project for the Ice Coring in Antarctica*).

Questo programma pluriennale, finanziato dall'Unione Europea e da 10 stati europei (Belgio, Danimarca, Francia, Germania, Italia, Inghilterra, Norvegia, Olanda, Svezia, Svizzera) ha permesso di effettuare due perforazioni profonde nei ghiacci antartici, la prima presso la base italo-francese Concordia a Dome C (DC) e la seconda nella Dronning Maud Land (DML).

La perforazione di EPICA – DC, conclusa nel 2004, ha raggiunto la profondità di 3.270 metri; gli studi sulle carote hanno permesso di risalire alla storia climatica degli ultimi 800 mila anni, mentre con la perforazione di EPICA – DML, di 2.774 metri, sono stati analizzati con maggior dettaglio gli ultimi 150.000 anni.

Le analisi sul ghiaccio delle perforazioni EPICA – DC hanno mostrato che la temperatura media annua negli ultimi 750.000 anni è ciclicamente variata da condizioni calde (interglaciali) a condizioni fredde (glaciali). Ogni ciclo climatico ha avuto una durata di circa 100.000 anni ma, mentre i tre più antichi hanno avuto interglaciali meno caldi e più lunghi, gli ultimi quattro cicli hanno avuto interglaciali più caldi e di breve durata. Il presente interglaciale, ancora in corso, è un poco meno caldo dei precedenti e dura da circa 12.000 anni.

La variazione della CO₂ da 650.000 anni al presente, è stata evidenziata oltre che dalla perforazione EPICA – DC anche dalla perforazione russa VOSTOK. Il biossido di carbonio in questo intervallo di tempo è variato in fase e proporzionalmente alle variazioni di temperatura, con valori minimi di 180 ppmv (parti per milione in volume) nelle fasi glaciali più fredde, e valori massimi di 300 ppmv nelle fasi interglaciali più calde.

Negli ultimi due secoli, a causa delle attività umane, in primo luogo tutti i processi di combustione, il valore della CO₂ è salito a 380 ppmv, ben al di sopra del limite naturale di variabilità, con un aumento di oltre il 35%.

Da qui la dimostrazione scientifica della urgente necessità di un impegno internazionale nella riduzione dell'emissione della CO₂.

Il buco nell'ozonofera

Nelle giornate di forte soleggiamento, lavorando all'aperto in Antartide, è istintivo proteggersi con copricapi o creme. Non è concesso dimenticare che nella zona direttamente sottostante il famoso buco dell'ozono la pelle ne sopporta le conseguenze. La prima do-



manda che viene naturale porre è: " Il buco si sta chiudendo?"

Il buco nell'ozonosfera che si osserva proprio sopra l'Antartide è caratterizzato da una elevata riduzione della concentrazione di ozono che, rilevata nei primi anni 70 e studiata in particolare dai tre ricercatori inglesi Farman, Gordiner e Shaklin, ha portato ad individuarne la causa principale nelle emissioni di composti di cloro.

Ricordiamo che l'ozono, una molecola triatomica dell'ossigeno, ha l'importantissima funzione di assorbire gran parte delle radiazioni ultraviolette che risultano gravemente nocive per l'uomo.

In particolare è stata individuata nella stratosfera la presenza di clorofluorocarburi (CFC), composti ampiamente utilizzati nell'industria del freddo e come propellenti di aerosol. Questa molecola, sotto l'azione della luce solare, si spezza e libera cloro attivo che distrugge l'ozono. L'aver bandito a livello internazionale l'utilizzo dei clorofluorocarburi sta mostrando i suoi effetti con un graduale recupero della quantità di ozono presente nella stratosfera. Purtroppo sono in aumento le concentrazioni dei sostituti dei CFC, anch'essi potenti gas serra.

Nel 1993 nacque il progetto *Airborne Polar Experiment*, programma ufficiale della Fondazione Europea per la Scienza con la diretta partecipazione, oltre alla Russia in posizione di leadership, di: Italia, Svizzera, Germania, Finlandia, Svezia, Norvegia e Regno Unito.

Nel 1997 è stata condotta una prima campagna di ricerca nella stratosfera utilizzando l'aereo stratosferico russo *M-55 Geophysica* con a bordo strumenti dedicati alla misura della pressione, temperatura, intensità e direzione dei venti, caratteristiche chimiche e fisiche

dell'aria, i contenuti di cloro e bromo, le variazioni di biossido d'azoto, acqua, acido nitrico e cloridrico. Questa ricerca ha permesso, attraverso un prolungato e continuo monitoraggio, di determinare il processo di depauperamento dell'ozono.

I sedimenti marini

Nelle operazioni di recupero o di messa in mare di un mooring, così come nella fase di lancio delle sonde XBT (Expendable BathyThermograph), la profondità del fondo marino diventa un fattore importantissimo. Da qui a chiedersi di quale materiale il fondo marino è costituito il passo è breve ed è strettamente legato alla domanda: "Come era il fondo del mare nei tempi passati?" (figura 4).



Figura 4

Lancio XBT - La misura della temperatura della colonna d'acqua viene effettuata utilizzando delle sonde che, immergendosi, trasmettono ad una banca dati, attraverso un sottilissimo filo di rame, i valori della temperatura dell'acqua lungo tutta la discesa (dalla superficie fino a 800-1200 metri)

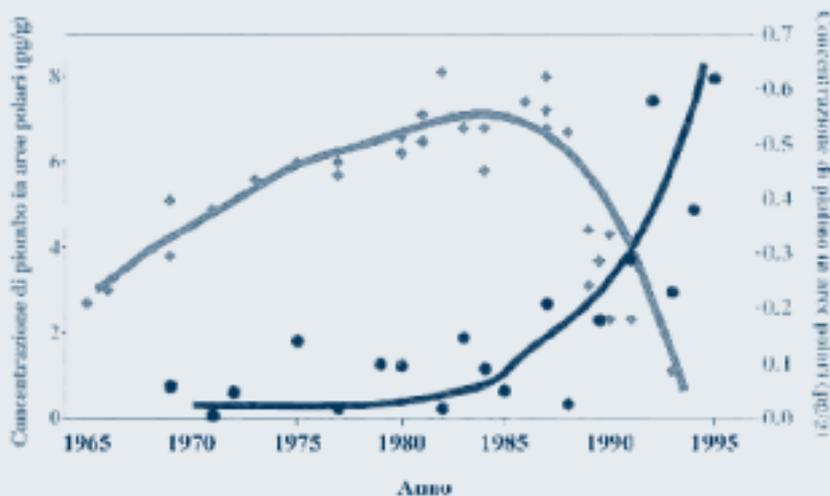


Figura 5

Variazioni delle concentrazioni di piombo e platino in aree polari. Alla diminuzione del contenuto di piombo degli anni 80, dovuto alla introduzione delle benzine verdi, si contrappone l'incremento del platino, dovuto all'introduzione della marmitta catalitica

Dal punto di vista geologico il continente Antartico presenta delle caratteristiche uniche: una quasi totale assenza di sismicità nell'Antartide Orientale e un'immensa copertura glaciale. Altri aspetti peculiari sono le antichissime (ca. 3 miliardi di anni) rocce metamorfiche della Terra di Enderby, il complesso di subduzione che, attraverso l'aggregazione di microcontinenti, ha formato l'Antartide Occidentale e la presenza di meteoriti sulla superficie del ghiaccio.

Per poter risalire allo studio degli ultimi 100 milioni di anni della storia geologica dell'Antartide è utilissimo studiare i sedimenti che oggi sono presenti sotto il livello del mare, ma che una volta erano terrestri. Sei nazioni (Australia, Germania, Italia, Nuova Zelanda, Regno Unito, Stati Uniti) hanno sviluppato un progetto internazionale, il *Cape Roberts Project*, con lo scopo di perforare il fondo del mare fino a circa 1500 metri di profondità. L'analisi di queste "carote" di sedimenti ha permesso di studiare e datare il sistema geologico del Mare di Ross, di ricostruire la storia an-

tica del clima della regione, di datare le più antiche evidenze glaciali e la formazione della calotta antartica. Nel triennio 1997 – 1999 sono state eseguite le perforazioni che hanno portato alla luce ben 1.700 metri (suddivisi su tre carotaggi) di rocce del substrato, sedimenti glaciomari, continentali e di transizione.

Queste carote hanno permesso di risalire, nella storia geologica del pianeta, fino a 34 milioni di anni fa.

La caratteristica tecnologica all'avanguardia è stata la capacità di aver effettuato la perforazione del fondo marino con una attrezzatura di perforazione che partendo dalla superficie ghiacciata del pack (di spessore di circa 2-3 metri), ha attraversato ben 500-600 metri di acqua prima di iniziare a perforare il fondo.

Questo primo progetto ha portato ad un accordo scientifico (*ANTarctic DRILLing – ANDRILL*) fra quattro nazioni (USA, Nuova Zelanda, Germania ed Italia) che prevede due stagioni di perforazioni nell'area del Mare di Ross per ricerche sull'evoluzione climatica degli ultimi 35 milioni di anni. L'Italia partecipa, presso la



Stazione americana di McMurdo, al progetto MIS (*McMurdo Iceshelf*) che effettua perforazione, recupero ed analisi di carote di sedimenti con la tecnologia sviluppata dal *Roberts Project*.

Le meteoriti antartiche

La curiosità per questa ricerca nasce da un numero. Nell'anno 1980 sono state recuperate in Antartide ben 3000 meteoriti, gli oggetti più antichi presenti sulla Terra. Dopo aver verificato con attenzione la veridicità di tale numero, tremila, la domanda nasce spontanea: "Come è possibile una tale quantità?".

Sebbene il primo ritrovamento risalga al 1912 (spedizione Mawson) l'interesse per le meteoriti antartiche comincia solo nel 1969, quando un gruppo di glaciologi giapponesi raccoglie nove pietre diverse da quelle di origine locale, in una ristretta area di *ghiaccio blu* (ghiaccio antico e ricristallizzato) presso le Yamato Mountains (Terra della Regina Madre). La presenza di una crosta nerastra indica immediatamente la possibilità che si tratti di meteoriti, coperte appunto da quella crosta di fusione che si forma per riscaldamento da attrito nel corso dell'attraversamento dell'atmosfera terrestre. I glaciologi giapponesi attribuiscono verosimilmente i campioni ad un unico sciame, li interpretano cioè come i frammenti prodotti nella caduta di un unico meteorite. La sorpresa nasce quando le successive analisi di laboratorio da parte degli specialisti rivelano che i nove frammenti Yamato sono tra loro diversi e devono pertanto corrispondere a più cadute distinte. È quindi necessario concludere che il fortunato ritrovamento del 1969 è stato favorito non solo da condizioni di visibilità ottimale (il contrasto tra la superficie chiara del ghiaccio e la patina scura della superficie esterna della meteorite), ma anche dalla presenza di me-

canismi di concentrazione, capaci di produrre un arricchimento locale nella distribuzione di meteoriti.

Ovvero, è necessario ammettere che i Monti Yamato si siano comportati come una trappola per meteoriti, cioè un luogo di concentrazione ove si accumulano meteoriti cadute in posti diversi dell'altipiano antartico ed in tempi diversi all'interno dell'ultimo milione di anni.

Paradossalmente ricordiamo che, a fronte di calcoli di meccanica celeste, in Antartide cadono meno meteoriti che non all'equatore, non si può quindi parlare di maggior frequenza di cadute ma di una maggior capacità di raccolta.

Quarant'anni di ricerche in Antartide hanno dimostrato l'esistenza di straordinarie zone di concentrazione di meteoriti. È presente in Antartide il più grande giacimento di materia extraterrestre, facilmente raggiungibile e di estremo valore scientifico, capace di aprire le porte alle conoscenze dell'evoluzione del Sistema Solare.

Le meteoriti provenienti dagli asteroidi hanno circa 4,6 miliardi di anni di età mentre le meteoriti lunari e marziane sono più recenti, con età fino al miliardo di anni.

Il movimento del ghiaccio permette di trasportare e accumulare, in adiacenza di ostacoli montuosi, frammenti piccoli e incoerenti quali le meteoriti. L'assenza di acqua allo stato liquido aiuta a ridurre l'alterazione dei materiali mentre il colore chiaro del ghiaccio evidenzia il materiale scuro.

Si riesce, con le più moderne tecnologie, ad individuare località denominate "trappole" che hanno portato negli anni ad individuare più di 20.000 meteoriti.

Le immagini satellitari permettono di rilevare la distribuzione del ghiaccio blu su cui è facile individuare le meteoriti, misurare la velocità di ablazione del ghiaccio, il suo movimento e, in funzione del



flusso del ghiaccio, individuare i siti di accumulo. A tali studi seguono campagne di raccolta sistematica in aree ristrette.

La storia dell'Antartide

Non si può visitare l'Antartide senza essere, quasi fisicamente, coinvolti dalla sua storia. Tutto parla della sua esplorazione, ogni nome di montagne, di isole, di ghiacciai, di golfi, di baie, è un pezzetto di storia. Guardando la cartina geografica forse l'unico nome che manca è quello di James Cook che dal 1773 al 1775 circumnaviga l'Antartide, ma non lo tocca, ma gli altri ci sono tutti. Da James Weddell (Mare di Weddell) che nel 1823 raggiunge la latitudine di 74° 15' Sud a Charles Wilkes

(terra di Wilkes) che nel 1840 avvista il continente, da Jules-Sébastien Cèsar Dumont d'Urville (Stazione francese) che nel 1840 sbarca a Pointe Geologie a James Clark Ross (Mare di Ross) che scopre la Terra Vittoria. Da Carsten Egeberg Borchgrevink (Monte Borchgrevink) a Eric von Drygalski (ghiacciaio Drygalski) che nel 1899 e nel 1902 svernano sul continente.

Da Jean Baptiste Charcot (isola Charcot) a Ernest Shackleton (Piattaforma di Shackleton) che esplorano ampi settori del continente e scrivono pagine di coraggio e generosità (figura 7). Gli eroici Lawrence Edward Oates (terra di Oates), Wilson (punta Wilson), Bowers (M. Bowers), che nel 1912 morirono da perfetti gentiluomini inglesi.



Figura 6
Italica – Questa nave da ricerche antartiche una viene utilizzata per il trasferimento dall'Italia e dalla Nuova Zelanda di materiale e attrezzature, per effettuare ricerche oceanografiche e per il trasporto dei ricercatori alla chiusura della Base



Non dimentichiamo la Base americana situata proprio al Polo Sud, che accomuna il vinto (Robert Falcon Scott) al vincitore (Roald Amundsen).

E vogliamo chiudere con il nome che più ci è vicino, Mario Zucchelli, che riuscì a far decollare le ricerche italiane in Antar-

tide e che è entrato nella storia con il nome della Base italiana a Baia Terra Nova.

ENEA - Direttore Centro Ricerche Ambiente Marino S. Teresa

Per informazioni
giovanni.scabbia@santateresa.enea.it



Figura 7

Una foto storica. La nave Endurance al comando di Shackleton viene stritolata dai ghiacci. L'equipaggio di 28 uomini riuscirà a sopravvivere per oltre due anni, dal dicembre 1914 al gennaio 1917, in condizioni estreme e a salvarsi



La stampa a getto di inchiostri funzionali

Dario Della Sala, Fausta Loffredo,
Gianbattista Burrasca

La tecnologia di stampa con il metodo "ink-jet" è già al nostro fianco nella vita quotidiana, in casa e in ufficio. La versatilità di questo metodo e la incessante sintesi di nuovi inchiostri dotati di proprietà specifiche differenti da quelli della grafica, consentiranno anche di realizzare sensori, schermi piatti e altre strutture microscopiche. Vedranno la luce nuove specifiche tecniche di produzione in linea, in grado di ridurre lo spreco dei materiali e migliorare il rispetto dell'ambiente



Negli ultimi anni, nel settore delle stampanti domestiche e professionali, si è imposta sempre di più la tecnica a getto d'inchiostro ("ink-jet printing", IJP), in virtù di alcuni attributi vincenti: è versatile, senza contatto, funziona anche su carta comune.

Il principio alla base della stampa *ink-jet*, è assai semplice, poiché consiste nella applicazione di micro-gocce di inchiostro. Questo principio è anche intrinsecamente "digitale": ogni colore può essere ottenuto sommando diversi "bit di colore", che sono le singole gocce.

La semplicità del metodo sta generando la gemmazione di nuove applicazioni, dopo quella della grafica su carta e su acetato.

Ad esempio l'uso di speciali *inchiostri commestibili* consente di riprodurre immagini digitali anche su carta di riso, da applicare ad esempio sulla classica torta dei compleanni di famiglia[1].

Altre applicazioni emergenti riguardano la produzione di schermi piatti, dispositivi per analisi chimiche e biologiche, analisi combinatoriale dei materia-

Functional ink-jet printing

Ink-jet printing has become a normal part of our daily lives, at home and in the office.

The versatility of the technology and the ceaseless development of new inks with specific properties besides colour will make it possible to build sensors, flat screens and other microscopic structures.

New online manufacturing techniques will reduce process waste and heighten respect for the environment



li, stampa di sensori su rulli di plastica flessibile. In queste nuove applicazioni, le prerogative acquisite dalle stampanti commerciali (grandi aree di stampa, alta velocità, alta risoluzione) risultano già plausibili per impianti di produzione di serie. Inoltre il metodo *ink-jet* è intrinsecamente adatto alla prototipazione, poiché può realizzare disegni molto diversi in breve tempo. In una certa misura, le stampe *ink-jet* potrebbero anche essere utilizzate per prototipare prodotti da realizzare con altri metodi di stampa che assicurano maggiori volumi di produzione (stampa rotocalco, flessografica ecc.).

Scopo di questo articolo è fornire un quadro scientifico della tecnologia *ink-jet*, delle sue applicazioni attuali e future e dei fenomeni fisici che governano il processo di formazione e deposizione di una goccia di inchiostro, nonché informare su alcune sperimentazioni della tecnologia *ink-jet* condotte presso il Centro Ricerche ENEA di Portici (NA).

Pietre miliari

La tecnologia IJP per la grafica ha una storia abbastanza antica. Il primo studio sulla maniera in cui un flusso di liquido può frammentarsi in gocce risale a Savart (1833), seguito poi dalla formulazione matematica dell'evento da parte di Lord Rayleigh (1878) e Weber. Il primo brevetto risale al 1951 (Elmqvist, Siemens)[2].

Negli anni 70 IBM avvia la produzione di testine IJP per *office automation*, basate sulla tecnologia "continuous ink-jet" (CIJ) [2].

Alla fine dello stesso decennio risale l'introduzione del metodo "drop-on-demand" (DOD), basato sulla generazione non sequenziale di gocce di inchiostro. Tra i vari metodi DOD, risalta il metodo "bubble-jet" di Canon, ove l'espulsione

della goccia viene ottenuta portando in ebollizione l'inchiostro ("thermal DOD", T-DOD). Nel 1984, Hewlett-Packard commercializza le stampanti Thinkjet, basate su una soluzione sostanzialmente simile alla CIJ[2].

Al giorno d'oggi, il sistema CIJ è generalmente impiegato in applicazioni industriali che richiedono più velocità che accuratezza, mentre il metodo DOD si rivolge principalmente alla stampa digitale o ad alta risoluzione (vedi il box per una comparazione dei due metodi).

Poiché è l'*office automation* che ha guidato finora l'evoluzione dei dispositivi di getto, il volume delle gocce si è stabilizzato sulle dimensioni necessarie alla grafica: decine di picolitri (pl), corrispondenti a diametri dell'ordine di decine di micron[3]. Nell'ultimo modello 1990 di Canon[4] la risoluzione massima è di 4.800 x 1.200 punti per pollice (ovvero un punto di stampa ogni 10 μm !), con dimensione della goccia di 2 picolitri.

L'aumento della risoluzione si accompagna all'abbattimento dei prezzi; questo testimonia che la tecnologia per il segmento di mercato cosiddetto "small office - home office" (SOHO) è arrivata ormai allo stadio della maturità.

Attualmente le stampanti *ink-jet* più tradizionali hanno penetrato anche i mercati della marcatura, della fotografia digitale, il tessile, l'*imaging* medico, il settore pubblicitario[5].

Per il grande formato necessario a quest'ultima applicazione, sono richieste dimensioni di stampa decisamente impressionanti; a titolo di esempio citiamo le caratteristiche tecniche di una specifica stampante di Vutek (figura 1): stampa fino ad 8 colori, su dimensioni fino a 5 m in larghezza, velocità di stampa fino a 195 metri quadri / ora[6].

Gli inchiostri per grafica su carta, elaborati dai principali produttori di stampanti IJ, sono generalmente a base di acqua,



“Continuous ink-jet” oppure “drop on demand”?

Per espellere gocce da un contenitore, occorre creare un'onda di pressione nella parte terminale, lasciando al liquido l'unica via di fuga in un minuscolo orifizio. Il metodo CIJ classico (“Continuous ink-jet”) è basato sulla cadenza continua (figura sottostante): le gocce vengono caricate elettrostaticamente nella fase di espulsione dall'orifizio, e quindi deflesse da un campo elettrico trasversale, che determina due percorsi alternativi: l'atterraggio verso il foglio o il recupero attraverso una vaschetta. La frequenza di ripetizione tipica è di 80-100 kHz, con dimensioni tipiche dell'orifizio di uscita di 150 µm, ma sono noti record operativi di 1 MHz e 20 µm, rispettivamente. Il metodo CIJ si applica ai prodotti per la marcatura in linea, nei processi di fabbricazione e su plastica, carta e cartoni da imballaggio, processi contraddistinti da bassa risoluzione ed alta velocità. Piccola ma non banale complicazione: l'inchiostro per CIJ deve essere, almeno debolmente, conduttivo.

Nel metodo DOD (“Drop on Demand”) invece, le gocce vengono erogate con cadenza arbitraria (figura sottostante). Il cuore della testine è un trasduttore piezoelettrico (P-DOD), che dà impulsi di pressione al liquido generalmente attraverso una membrana protettiva, oppure un microriscaldatore (T-DOD), che porta istantaneamente all'ebollizione la porzione di liquido che lo sovrasta. A causa della natura termica del processo di pressurizzazione della goccia, il sistema T-DOD pone qualche problema in più per l'usura della testina, a causa dei ripetuti cicli di temperatura nella zona del riscaldatore, e l'impiego è limitato generalmente ad inchiostri acquosi e poco reattivi. Il sistema DOD non richiede un sistema di circolazione dell'inchiostro come il sistema CIJ.

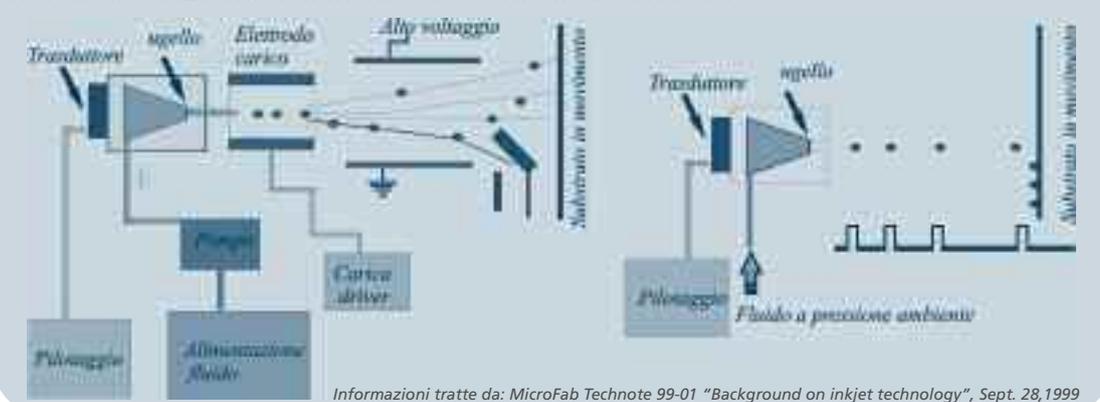


Figura 1
Stampante Vutek, per stampa grafica fino a 5 metri di larghezza.
Immagine cortesemente concessa da Electronics for Imaging Inc. (EFI)



contengono pigmenti ed altri ingredienti, e possiedono una viscosità globale dell'ordine di 2÷8 milli Pascal per secondo (mPas) [3].

Nella stampa su carta, quando la goccia arriva su foglio, è la capillarità delle fibre di cellulosa a favorire attivamente l'assorbimento e l'essiccazione. Per aumentare la risoluzione si può ridurre l'allargamento delle gocce mediante strati impermeabilizzanti applicati sulla carta, o utilizzando inchiostri a cambiamento di fase (a base di cera), che rimangono allo stato liquido nella testina, e solidificano immediatamente sulla carta, senza diffondere.

Nel caso di supporti plastici non assorbenti (come i fogli trasparenti di aceta-

to per le presentazioni), occorre utilizzare inchiostri a base di solvente, che evapora più velocemente dell'acqua. Per comprendere la varietà tecnica che lo sviluppo dell'*ink-jet* ha generato finora, proponiamo la classificazione di figura 2, i cui dati risalgono al 1998[2,3].

Dalla grafica alla microelettronica

Le ragioni del successo della stampa *ink-jet* nel settore grafico sono molteplici e oggettive: niente contatto con il substrato, risoluzione micrometrica, processi additivi, spreco contenuto di inchiostro, tecnologia matura e adatta alla produzione di massa e ai grandi formati.

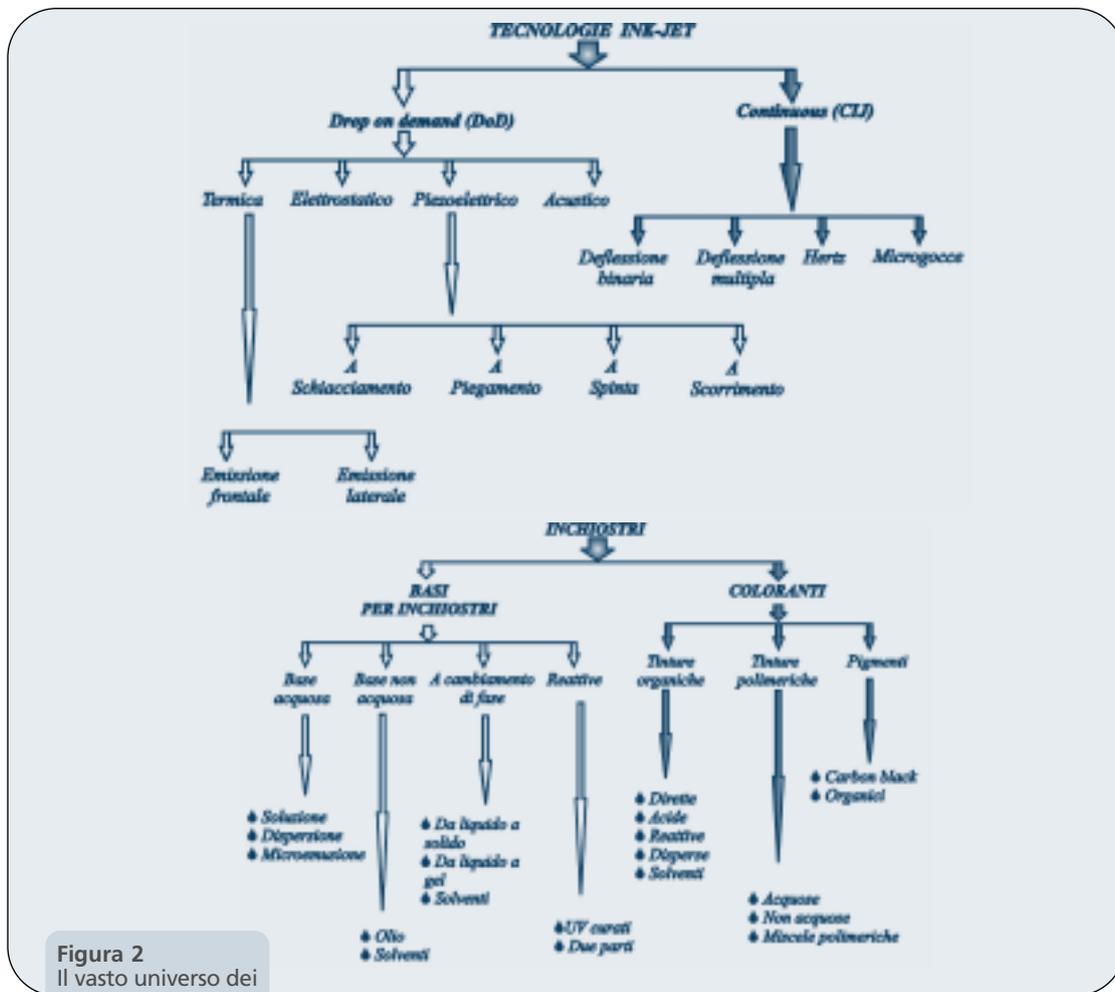


Figura 2
Il vasto universo dei metodi di stampa e degli inchiostri relativi al metodo *ink-jet* (anno 1998)[2,3]

Quelle medesime ragioni la rendono attraente per applicazioni in svariati settori ove è necessario un rilascio controllato e microscopico di materiali, come nella realizzazione di microcircuiti [7], nel riempimento di microreattori e microcelle, nella lubrificazione di micro-parti ecc.

Nel caso della microelettronica in particolare, ove è necessario sovrapporre una grande varietà di materiali, risalta il vantaggio di utilizzare una tecnica di stampa diretta e additiva, nei confronti dei laboriosi processi fotolitografici.

Nell'esempio di figura 3, si può apprezzare come il singolo processo di ink-jet, sostituisce i 6 processi convenzionalmente usati per la deposizione dei filtri rossi di uno schermo piatto in cui si crea una "sagoma" a base di una pellicola fotosensibile, che copre la parte desiderata durante un attacco specifico, a base di acidi o basi, che rimuove il 90 % dello strato depositato. La semplificazione è indubbia, anche se la velocità di processo rallenta, sostituendo un processo altamente parallelo (fotolitografia) con uno seriale (ink-jet).

Philips recentemente ha potuto annunciare uno schermo (display) dimostrativo basato su dispositivi organici emittenti luce (OLED) ove la tecnica *ink-jet* è utilizzata per la applicazione dei materiali che compongono i *pixel* elettroluminescenti. Il *display* è composto da 572 x 324 *pixel* (con un passo dell'ordine di 60 μm x 180 μm), Tutto ciò prelude all'obiettivo futuro di Philips: un *display* WXGA (1.365 x 768 *pixel*) con 30 pollici di diagonale.

Nonostante la concretezza di questi obiettivi, tutto il settore della "elettronica ink-jet" va considerato a uno stato embrionale, testimoniato anche dalla presenza di molte aziende emergenti a far da motore a questo settore industriale.

Come nasce una goccia

Dal punto di vista tecnologico, la caduta spontanea delle gocce per gravità, come in un rubinetto che perde, non è conveniente per almeno due motivi: l'evento è spesso sopraffatto dalle forze di tensione superficiale, che tengono incollata la goccia all'ugello, e la frequenza dell'evento è modesta e arbitra-

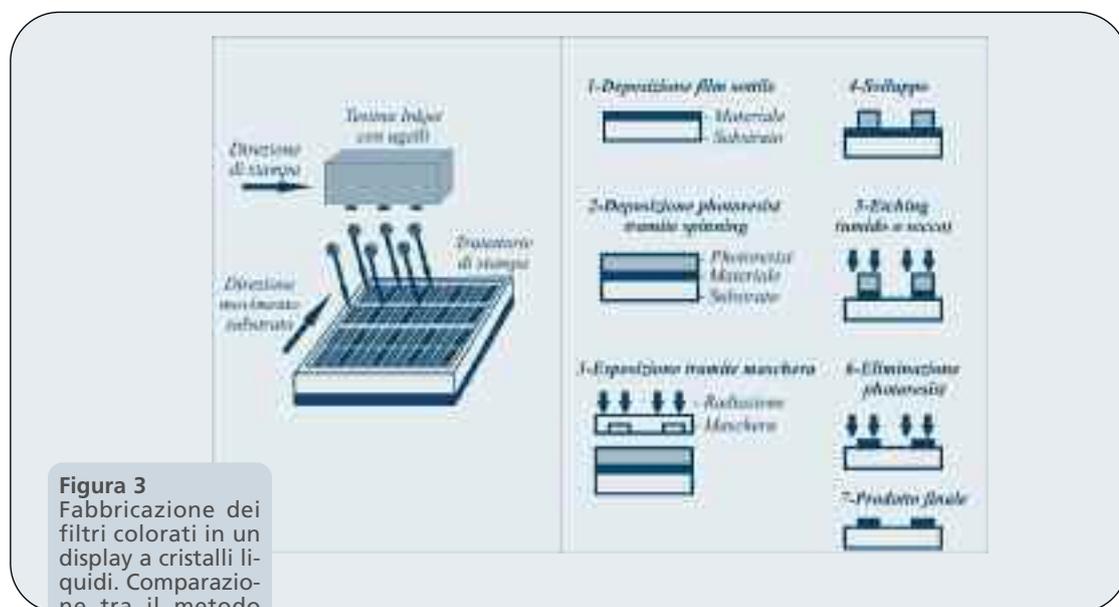


Figura 3
 Fabbricazione dei filtri colorati in un display a cristalli liquidi. Comparazione tra il metodo *ink-jet* (sinistra) e la fotolitografia convenzionale (destra)



ria. Bisogna stimolare la fuoriuscita della goccia ricorrendo alla tecnologia e, quindi, alla modellazione matematica dell'evento.

Lo studio di Fromm del 1984, rappresenta una delle prime analisi "moderne" della fluidodinamica dell'emissione stimolata di una goccia di inchiostro e chiarisce le principali regole di comportamento del liquido[8]. Vengono risolte le equazioni di Navier-Stokes per un fluido incompressibile, in regime impulsivo e le caratteristiche del liquido sono classificate secondo la quantità adimensionale $Re/(We)^{1/2} = (\gamma r \rho/\eta^2)^{1/2}$, dove Re è il numero di Reynolds ($Re = v r \rho/\eta$) e We è il numero di Weber ($We = v^2 r \rho/\gamma$), γ è il coefficiente di tensione superficiale, r la dimensione radiale, ρ la densità e η è la viscosità.

Si dimostra che esistono diverse modalità di comportamento. Per valori crescenti del rapporto Re/We , la goccia tende ad allungarsi subito dopo l'uscita dall'ugello, fino a formare un filamento satellite, che viene poi re-inglobato nella goccia durante il suo viaggio verso il bersaglio. Aumentando la pressione di eiezione (per $Re/We = 3$) lo stesso filamento si rompe durante il volo, generando una indesiderata goccia secondaria che definiremo "goccia satellite"[8].

Per valori troppo bassi del rapporto Re/We , occorre un impulso di pressione molto alto per espellere la goccia[9]. Per Re/We molto alto, viene generata invece una grande colonna di liquido, che favorisce la generazione di varie gocce satelliti. Questa circostanza corrisponde al caso di inchiostri poco viscosi, oppure polimerici, oppure caricati con nanoparticelle.

Di fatto i sistemi P-DOD commerciali per la grafica utilizzano inchiostri con bassa viscosità ("newtoniana" compresa tra 0,5 e 40 mPas) e con tensione superficia-

le tra 20 e 70 milli N/m, per i quali $Re/(We)^{1/2} = 1 \div 10$ [9,10].

Poiché la viscosità risulta assai dipendente dalla temperatura, molto di più della densità e della tensione superficiale, ne consegue che esiste un metodo supplementare per fluidificare l'inchiostro fino alle condizioni ottimali: aumentare la temperatura con un riscaldatore locale sull'ugello, ottenendo indirettamente un aumento della velocità di eiezione e del volume della goccia[10].

Nel metodo P-DOD, che più ci interessa, l'onda di pressione che espelle la goccia è generata dalla contrazione di un attuatore piezoelettrico, il cui volume varia in funzione della tensione applicata (figura 4).

Le caratteristiche dell'impulso di pilotaggio dell'attuatore governano quelle della goccia. Poiché la velocità delle onde d'urto di pressione nel liquido è finita, la frequenza di generazione delle gocce, deve confrontarsi con le autofrequenze naturali di oscillazione del liquido nella cavità[9,11]. In altre parole, le onde stimulate di pressione devono porsi "in fase" con la velocità di propagazione naturale all'interno della cavità. Questa correlazione fa sì che volume e velocità della goccia siano funzioni oscillanti, e non monotone, della

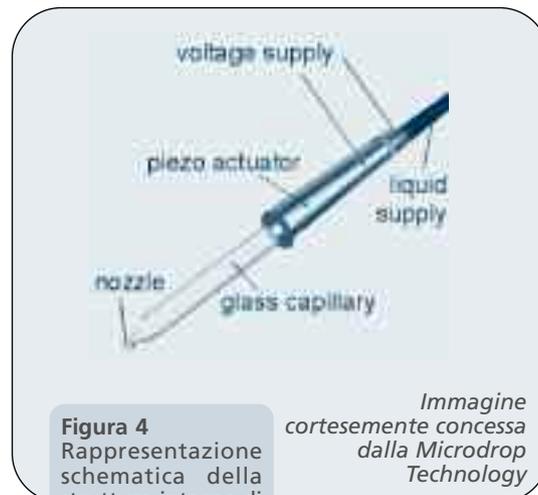


Figura 4
Rappresentazione schematica della struttura interna di una testina per P-DOD

Immagine cortesemente concessa dalla Microdrop Technology

frequenza di ripetizione dell'impulso[9,12].

La tensione di picco dell'impulso, è una funzione crescente della viscosità dell'inchiostro, ancora più accentuata se l'inchiostro bagna la zona circostante all'ugello di espulsione della goccia.

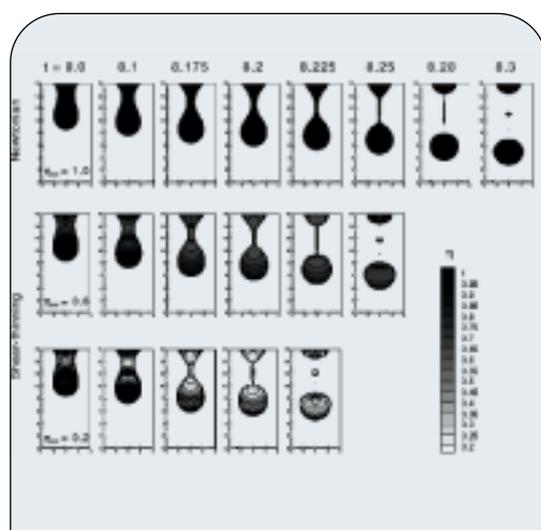
Le caratteristiche di bagnabilità dell'ugello sono una sorgente di insidie per la affidabilità dei sistemi IJP. Una eccessiva bagnabilità può comportare la solidificazione progressiva dell'inchiostro e la otturazione prematura dell'ugello durante i periodi di *stand-by*.

Per questo motivo, i tempi di riposo dell'erogatore durante i processi non possono essere arbitrariamente alti. Nel caso di dispersioni polimero-acqua, la durata tipica del tempo di interruzione tra due emissioni consecutive è di alcuni secondi. La tensione di pilotaggio è anche funzione crescente della dimensione dell'orifizio di uscita, poiché aumenta il volume di liquido movimentato[12].

Le conclusioni generali di Fromm sono frutto di una buona approssimazione al

caso reale, ma il caso più generale che si presenta è quello di un inchiostro "non newtoniano", la cui viscosità non è costante ma dipende dalla velocità di deformazione (*shear rate*). Si tratta di liquidi generalmente più densi e viscosi, come ad esempio gli inchiostri polimerici e quelli biologici. In molti casi si ha a che fare con fluidi non-newtoniani in cui la viscosità diminuisce all'aumentare della velocità di deformazione (detti fluidi *shear-thinning*). Uno studio condotto su questi fluidi mostra che la evoluzione della goccia è simile a quella di fluidi newtoniani, ma si realizza su scale di tempi diversi (figura 5). Anche la genesi delle gocce satelliti è simile[13,14].

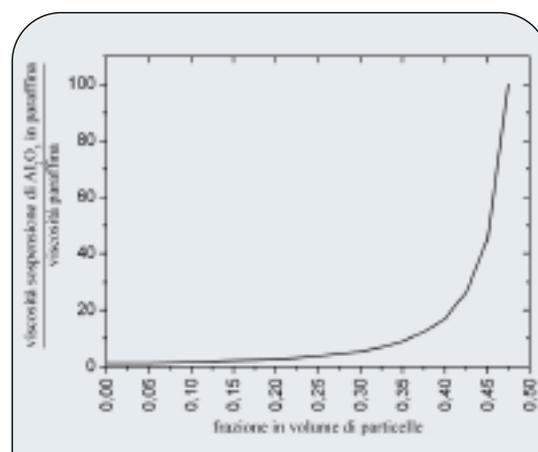
Cambia soltanto il tempo caratteristico di distacco della goccia, la forma della goccia subito dopo il distacco (per l'azione delle forze elastiche), e, forse, il numero dei satelliti. Le dimensioni caratteristiche della goccia sono in scala con la dimensione dell'orifizio.



Da[14] con il permesso di Australian Mathematical Society

Figura 5

Calcolo delle forme della goccia e delle mappe interne di viscosità, per liquidi con viscosità newtoniana e viscosità "shear thinning", allorché $R = 0.13$, $We = 0,000687$, $Fr = 0,00437$ [14]



I dati riportati nel grafico sono stati estratti da [16]

La legge in questione esprime la variazione della viscosità di una sospensione in funzione della frazione in volume di particelle disperse (ϕ). L'espressione analitica della legge è: $\eta/\eta_0 = (1 - \phi/\phi_{max})^{-n}$, dove ϕ_{max} è la concentrazione in volume a cui si forma un reticolo solido, dell'ordine di 50-60 %.

Figura 6

La legge di Krieger - Dougherty - per un inchiostro composto, sperimentata su una sospensione di nanoparticelle di allumina in paraffina[15]



Gli inchiostri utilizzati nell'*ink-jet* possono essere costituiti da liquidi puri, soluzioni omogenee e da sospensioni di nanoparticelle funzionali disperse in un vettore inerte (acqua, solvente).

Le nanoparticelle devono avere comunque dimensioni di poche decine di nanometri, altrimenti si rischia l'otturazione dell'ugello.

Per ottenere un materiale compatto dopo l'essiccazione della goccia, la tentazione è quella di aumentare al massimo la concentrazione in volume delle nanoparticelle. D'altro canto l'aggiunta di particelle ad un fluido, ne aumenta grandemente la viscosità η figura 6).

Un compromesso tra le due esigenze va cercato tenendo conto che il metodo P-DOD, richiede l'utilizzo di inchiostri con viscosità < 40 mPas[15].

I suggerimenti generali che si ricavano da quanto abbiamo illustrato, sono questi: l'inchiostro deve avere possibilmente bassissima viscosità (η_0 basso) ed alta temperatura di ebollizione, in maniera da non evaporare facilmente sul bordo degli ugelli.

Gli inchiostri per la grafica, sono generalmente a base acquosa o in ogni caso a bassa viscosità e newtoniani, e rispettano i criteri detti sopra.

L'espansione delle applicazioni preme però anche verso altri inchiostri: metallici, compositi, polimerici. Questi richiedono lo sviluppo di nuove testine riscaldate (per diminuire all'ugello la viscosità del materiale) o l'utilizzo di testine o micropipette di tipo sostanzialmente diverso (a pistone) dotate però di minore risoluzione.

La sensazione che se ne ricava è che ogni processo vuole il suo inchiostro, ma ogni inchiostro vuole la sua testina *ink-jet*: lo sviluppo dell'*ink-jet* verso nuove frontiere si dovrà accompagnare con lo sviluppo dell'ingegneria micromeccanica delle testine.

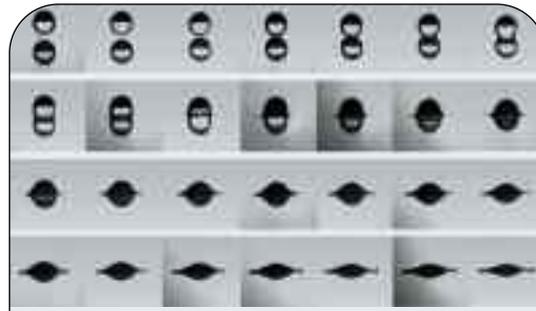


Immagine riprodotta con il permesso di Dirkjan B. van Dam e Christophe Le Clerc, *Physics of Fluids*, 16, 3403 (2004). Copyright 2004, American Institute of Physics

Figura 7

Impatto di una goccia d'acqua con una superficie di vetro, con queste caratteristiche iniziali: diametro $D_0=66$ μm , velocità $=11,4$ m/s, numero di Weber $We=119$. L'angolo di contatto del substrato è $\theta_a < 15^\circ$. L'intervallo tra due fotogrammi è $0,25$ μs [16]

Metamorfosi di una goccia

Se la gestazione della goccia nella testina è complessa, non è da meno il seguito della sua breve vita, lunga circa un decimo di millisecondo, visto che le gocce emesse dagli ugelli, effettuano un tragitto in aria di circa 1 mm, con velocità di alcuni metri al secondo.

Nell'ambito di questo articolo concentreremo l'attenzione sulla deposizione di gocce su substrati non porosi, più vicini alle applicazioni di interesse ENEA.

L'evoluzione qualitativa della forma della goccia su un substrato è raffigurata in figura 7[16]. La forma finale dopo l'impatto risulta dal bilancio tra l'energia cinetica della goccia e le energie superficiali e viscosa che agiscono durante lo schiacciamento della goccia[16,17]. L'allargamento finale relativo su una superficie piana è ancora una volta funzione dei numeri We e Re ed infine dell'angolo di contatto[15,9]

Alcune grandezze che influenzano l'allargamento finale non sono costanti durante l'evento e risultano invece forte-

mente condizionate da altri fattori, quale ad esempio la velocità di solidificazione, che modifica il valore istantaneo della viscosità.

Per alte energie cinetiche della goccia, appare il fenomeno dello spruzzo o "splashing", in cui la goccia dissipa la sua energia in eccesso allargandosi a stella. I regimi operativi da utilizzare per evitarlo sono: $10^1 < We < 10^3$, $10^1 < Re < 10^2$ [15]. Bisogna rammentare, infine, una condizione generale: l'alto rapporto superficie/volume delle gocce, rende i tempi di essiccazione molto più brevi rispetto ad altri metodi di applicazione degli stessi materiali. Nonostante il solvente possa avere una temperatura di ebollizione di 200 °C, che comporta 8 ore di evaporazione per depositi "macroscopici" (ad esempio 0,02 ml erogati da pipetta), esso impiega solo 1 minuto ad evaporare su scala microscopica, poiché il rapporto superficie/volume aumenta di un fattore 10^8 . L'essiccazione di una goccia può quindi avvenire immediatamente, sul posto, e prima che ne arrivi una successiva.

Un'altra sorgente di accelerazione dell'evaporazione, è la ventilazione sperimentata dal substrato, quando viene mosso ad alta velocità sotto le testine (generalmente fisse).

Inchiostri funzionali

"Tutto può essere stampato, se è abbastanza liquido". Questo potrebbe essere uno slogan semplice e unificante per gli inchiostri *ink-jet*.

La gamma degli inchiostri utilizzabili per *ink-jet* comprende materiali estremamente diversi tra loro ma nonostante le enormi differenze esistenti possiamo identificare 4 principi mediante i quali sono prodotti gli inchiostri. Il componente funzionale che si vuole depositare per *ink-jet* può essere stampato:

1) direttamente, poiché ha una fluidità opportuna (ad esempio alcuni polimeri, alcoli, cere); 2) sotto forma di soluzione ottenuta sciogliendo il materiale da depositare in un opportuno solvente; 3) sotto forma di sospensione ottenuta disperdendo il materiale in un opportuno fluido; 4) indirettamente. In questo ultimo caso non si stampa il materiale funzionale ma un suo composto derivato più facilmente trattabile (che potremo definire precursore). Il materiale di interesse verrà ottenuto solo successivamente dopo trattamento termico o UV del precursore stampato.

Analizziamo di seguito alcuni esempi di quanto detto.

Gli inchiostri polimerici possono essere stampati direttamente dalla fase liquida, riscaldando tutta la testina di getto per diminuire la viscosità dell'inchiostro, oppure essi devono essere dispersi come particelle polimerizzate (con dimensione ben inferiore a 1 μm) all'interno del solvente. In questo caso bisogna prevedere un solvente con pressione di vapore molto bassa, affinché non si creino dei flussi capillari verso il bordo del deposito, con conseguente accumulo di polimero[18].

Un aumento eccessivo della concentrazione di polimero o del suo peso molecolare può causare anche la scomparsa delle singole gocce, allorché si arriva a grandissimi pesi molecolari, dell'ordine di 500.000 unità di massa atomica. All'aumentare del peso molecolare del polimero o della sua concentrazione, infatti si osserva un filamento continuo che lega la testa e la coda delle gocce satelliti che al limite tendono a formare un unico treno di gocce ininterrotto[18].

Nel caso si voglia depositare metalli, si possono utilizzare inchiostri contenenti composti metallorganici, in cui il me-



tallo è legato ad una parte organica che viene eliminata durante il successivo trattamento termico di essiccazione e densificazione.

Tramite precursori metallorganici, sono stati depositati rame[19] e oro[20], e piste a base di argento[21]. Il trattamento termico può anche migliorare l'allargamento delle gocce e la loro coalescenza (ossia l'unione) in strutture lineari continue, prima del loro irreversibile essiccamento.

I materiali metallici possono essere stampati sotto forma di dispersioni di particelle metalliche, ad esempio d'oro[22] o d'argento[23]. Ci si attende da questa opzione di dover aumentare la temperatura di post-trattamento (poiché sono particelle di metallo a doversi fondere insieme, anziché atomi di metallo a doversi liberare dei leganti organici, come nel caso dei metallorganici), ricavando però alla fine un minore restringimento delle linee (in ragione della minore perdita di volume) ed una migliore conducibilità delle tracce depositate.

La tecnologia *ink-jet* risulta particolarmente utile nelle applicazioni in cui occorre una estrema versatilità di disegno ed una forte necessità di prototipazione. Per questo gli inchiostri più studiati finora sono stati applicati a: piste metalliche (per le schede stampate di appa-

rati elettronici), ai filtri polimerici colorati (per i *display* LCD) ed a manufatti ceramici (per la prototipazione rapida di piccole parti).

Un breve saggio delle varie classi di inchiostri (necessariamente incompleto, ma adeguatamente suggestivo) e delle loro applicazioni è mostrato in tabella 1.

A conclusione di questa rassegna di esempi applicativi, vogliamo ricordare che ad essere stampato, di solito, non è il materiale puro, ma una miscela fluida contenente solo in piccole percentuali la sostanza di interesse o un suo derivato chimico. Per ottenere prestazioni fisiche comparabili vicine a quelle teoriche, bisogna ottimizzare il processo di essiccazione della miscela stampata, ma la coalescenza delle gocce rimarrà inevitabilmente limitata. Quasi sempre, alla fine ci si dovrà contentare di prestazioni limitate, poiché l'elevata diluizione di partenza degli inchiostri funzionali conduce a materiali finali abbastanza dispersi e porosi.

Microstrutture *ink-jet*: un mondo fatto a dischi (o quasi)

Le strutture stampate per *ink-jet* sono prodotte attraverso l'unione di gocce. Ciascuna goccia presa singolarmente ed essiccata dà luogo a depositi discoidali;

Tabella 1 – Le principali classi di inchiostri funzionali per *ink-jet* e le loro applicazioni

Inchiostri	Applicazioni principali
Metallici	Microelettronica, microantenne
Ossidi semiconduttori	Display, sensori
Polimeri	Tutte
Ceramici	Rapid prototyping
Ferromagnetici	Memorie
Piezoelettrici	Microattuatori
Biologici	Sensori
DNA e proteine	DNA chips
Trasparenti	Microlenti
Lubrificanti	Micromeccanica (es: orologeria)
Fotoresist	Microelettronica



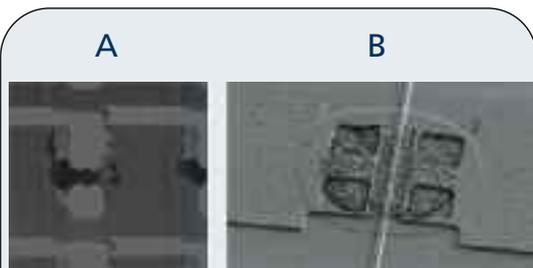


Immagine fig. 8A
cortesemente concessa da PARC Incorporated
Immagine fig. 8B
cortesemente concessa da Epson

Figura 8
TFT stampato completamente per *ink-jet* (da Xerox, sin.), TFT stampato con "silicio liquido" (da Epson, des.). Si distingue la classica struttura dei contatti di *gate, drain, source*

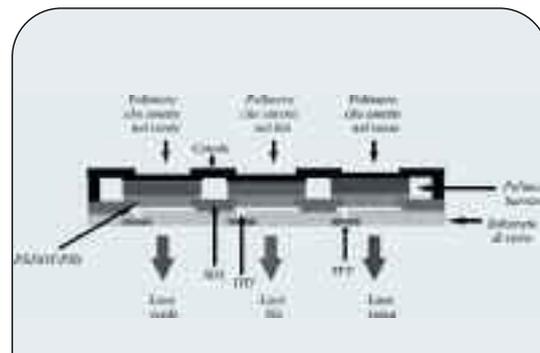


Figura 9
Sezione di un generico schermo PLED a colori, ove i materiali elettroluminescenti vengono depositati per *ink-jet*, all'interno delle barriere in polimero, e a contatto con i transistor che ne controllano la luminosità

per questo motivo possiamo dire che l'"unità di disegno" fondamentale dell'*ink-jet* è la forma a disco. La possibilità di manipolare la forma delle gocce depositate, attraverso la tensione superficiale e l'angolo di contatto, non scioglie completamente questo vincolo. Così, un TFT (transistor a film sottile) stampato sarà un insieme di cerchi di vari materiali, ed un microcircuito sarà un assemblaggio di dischi (figura 8). Con dischi sovrapposti in verticale, si possono creare pilastri e altre strutture 3D. Un mondo di dischi si presta a moltissime applicazioni: piste conduttive, sensori, prototipazione, chimica, ma non è adatto a strutture ad altissima risoluzione, poiché la densità di affiancamento dei dischi è inferiore a quello dei rettangoli, forma tipica di disegno utilizzata nella fotolitografia ad alta risoluzione. In molti casi, però, la forma del deposito è imposta dall'applicazione e non può essere arbitraria. Per "forzare la forma", si può inviare le gocce all'interno di scavi e recessi, realizzati preventivamente nel substrato a scapito della semplicità di processo. All'interno di queste apposite microvaschette, le gocce si assestano in forme più ortodosse, aidutate dalle forze

di tensione superficiale (figura 9, esempio). Dischi, pilastri, scavi, non sarebbero affatto utili nel progettare le forme della stampa, senza una elevata accuratezza delle testine di stampa. L'errore di posizionamento della goccia, è dato dalla somma di vari contributi: la precisione di posizionamento della testina, la precisione angolare della traiettoria della goccia, la stabilità della velocità della goccia[24]. In un caso tipico di stampa ad alte prestazioni di inchiostri luminescenti all'interno di tracce da 65 μm ricavate nel resist (richiamato in figura 9), le gocce hanno un volume di $5 \div 30$ pl, ovvero un diametro di $21 \div 39$ μm , richiedono una perpendicolarità di espulsione di $0,31 \div 0,83$ gradi[25]. Ove occorra aumentare la velocità di processo o l'area di stampa, è inevitabile creare una quantità di getti in parallelo, realizzando testine multi-ugello o schiere di queste. Citiamo ad esempio le prestazioni della testina SX128 della Spectra, progettata per depositare materiali organici elettroluminescenti per *display*: 128 getti in parallelo, 508 μm di spaziatura tra gli ugelli, 12 pl di volume di goccia, pos-



sibilità di aggiustamento del volume di $10 \div 12$ pl, percentuale di variazione del volume erogato inferiore al 2%, velocità del getto 8 m/s, ± 10 μm di accuratezza di posizionamento della goccia a 1 mm di distanza dal *target*, $\pm 5\%$ di variazione intrinseca della velocità della goccia, frequenza di operazione fino a 10 kHz[25].

Elettronica in gocce

Vale la pena di soffermarsi ora in particolare sulle applicazioni dell'*ink-jet* all'elettronica, uno dei processi meno noti e più complessi. Si è mostrato prima che la tecnica *ink-jet* possiede grandi attrattive per l'elettronica: possibilità di realizzare film sottili e disegni micrometrici, e di effettuare deposizioni successive allineate le une rispetto alle altre. Ma esistono gli inchiostri funzionali per l'elettronica?

Innanzitutto bisogna ribadire che già sono in commercio gli inchiostri conduttivi[7], correntemente utilizzati per realizzare (con altre tecnologie di stampa): contatti per tastiere a membrana e antenne a radiofrequenza per biglietti elettronici e *smart card*. Questi inchiostri sono generalmente costituiti di fini dispersioni di argento o carbonio, e applicabili sia su plastica che su carta.

I microdispositivi elettronici hanno bisogno però di una gamma ben più estesa di materiali: isolanti, conduttori, semiconduttori, elettroluminescenti. Molti di questi materiali esistono già sotto forma semifluida, e vengono già utilizzati per realizzare sistemi e componenti, attraverso la tecnica dello *spin-casting*.

Il problema tecnologico che si pone, è di avere *tutti* i materiali sotto forma di inchiostri, fortemente diluiti come occorre per la tecnica *ink-jet*. Per questo

motivo si hanno scarse notizie di circuiti complessi *completamente* realizzati con la tecnica IJP. Essa il più delle volte si limita alla realizzazione di subcomponenti del circuito, come i *pixel* elettroluminescenti o parte dei transistori di pilotaggio dei *display*.

Nel primo caso varie forme di *polimeri elettroluminescenti* sono state depositate per *ink-jet* con l'arrangiamento e le dimensioni caratteristiche dei *pixel* (tra 60 e 300 μm circa)[18]. La accuratezza di deposizione delle gocce viene aumentata realizzando alte barriere di poli-imide tra un pixel e l'altro, trattate con esposizione a tetrafluoruro di carbonio (CF_4) in maniera da renderle idrofobe e repellenti alle gocce, acquose.

Con la tecnica *ink-jet*, vengono anche stampati i *filtri colorati* dei *display* piatti TFT-LCD dei computer portatili. Essi danno il colore ai *pixel*, filtrando la luce bianca di una lampada di retro-illuminazione.

Nel caso dei *componenti micro-elettronici elementari*, IJP è stata applicata alla fabbricazione di TFT, ove i contatti di collettore e emettitore vengono realizzati con l'*ink-jet* del polimero poli-(3,4-etilen-diossi-tiofene)/polistirene-sulfonato (PEDOT-PSS), che viene "favorito" realizzando zone idrofobe sul substrato, per ottenere una separazione laterale dei contatti (lunghezza di canale) di $5 \div 10$ μm [26].

In letteratura è anche descritta la realizzazione di un *primo dispositivo realizzato su vetro*, utilizzando integralmente la tecnica IJP per il *patterning*. In particolare l'*ink-jet* produce *pattern* con cera per la realizzazione dei contatti, e poi con PQT-12 per stampare il semiconduttore. Il processo completo utilizza un substrato rigido, metalli e ossidi depositati con altre tecniche. Il risultato finale è un TFT con mobilità degli



elettroni $\mu_n = 0,06 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ ($\pm 0,04 \text{ cm}^2/\text{Vs}$) che dimostra la fattibilità del processo, ma prestazioni 30-50 volte inferiori ai TFT di silicio amorfo [27].

Anche per i *TFT organici*, la tecnica IJP è stata impiegata all'interno di tecnologie "ibride" (IJP e spin-casting), o per singoli passi di processo: per aprire fori di interconnessione, gettando gocce di solvente su strati isolanti[18].

Gocce scientifiche e apparecchiature industriali

L'applicazione della tecnica *ink-jet* all'elettronica è quella di più ampio impatto industriale, ma è solo il capofila di una vasta serie di applicazioni *high-tech*.

Anche la prototipazione rapida 3D può essere realizzata per *ink-jet*: erogando una serie successiva di gocce di poliammide, sovrapposte nella dimensione verticale, che si solidificano l'una sopra l'altra "costruendo" il prototipo, strato dopo strato[9,18].

Particolarmente adatti all'*ink-jet* sono gli esperimenti di chimica combinatoriale ove occorre realizzare un gran numero di provini diversi. In assenza degli strumenti per predire la giusta formulazione dei materiali, non rimane che realizzare un gran numero di provini di composizione diversa, e misurarne le proprietà. La possibilità di erogare con l'*ink-jet* precise quantità di materiale su siti specificati, risulta di grandissimo aiuto in questo caso [28].

Sono state proposte anche applicazioni del tipo "organ printing", dove ad essere stampate sono delle impalcature di poliuretano per stimolare la crescita tridimensionale di strutture cellulari [29]. Nello stesso filone si inquadra la stampa diretta di strutture cellulari, nel tentativo di realizzare strutture vascolari, attrezzate con endotelio e strutture muscolari[30].

Anche nella identificazione di DNA e proteine (DNA-chips) è notevole l'impatto della micro-erogazione *ink-jet*. In

Una stampante flessibile per substrati flessibili

Al CR ENEA di Portici è stata installata una apparecchiatura per la stampa a getto di inchiostro di inchiostri funzionali su substrati polimerici, in forma di bobina e fogli singoli. Il sistema si compone di 4 sezioni: avvolgimento e svolgimento bobina, stampante *ink-jet* tipo DOD a risoluzione micrometrica, forno per il trattamento termico ed UV degli inchiostri stampati. Il sistema monta fino a 4 testine *ink jet* mono-ugello del tipo P-DOD. Possiede motorizzazione meccanica ad alta risoluzione ($1\mu\text{m}$) in grado di muoversi con una velocità massima di 50mm/sec su di un'area di $200 \times 200 \text{ mm}^2$ seguendo un percorso di stampa impostato via software e visualizzabile tramite opportune telecamere di controllo.





questo caso, per realizzare disposizione a schiera (array) ad altissima densità di materiali biologici, che rappresentino la evoluzione diretta e micronizzata delle lastre per microtitolazione[31]. Arrivare a gocce da $10 \div 100 \mu\text{m}$ non è difficile, e aumenterebbe enormemente la densità delle schiere di provini ottenute con le procedure attuali (lastre da 1.536 probe). In questa applicazione, la possibilità di depositare i materiali senza contatto, per IJP, è estremamente attraente. Si riuscirebbe a superare il metodo attuale di erogazione tramite micropunte, le quali vengono a contatto con i substrati, e pongono vari problemi di attecchimento dei materiali.

In conclusione ricordiamo che le apparecchiature di stampa di materiali funzionali, possono avere anche una taglia su scala industriale. Ci riferiamo ad una macchina in grado di stampare filtri polimerici per display TFT-LCD, sulle lastre di vetro impiegate nella settima generazione di produzione di display: area di stampa: 2,5 m x 2,5 m [32].

Esperimenti *ink-jet* al Centro ENEA di Portici

Recentemente al Centro Ricerche ENEA di Portici è stata acquisita una apparecchiatura in grado di eseguire la stampa *ink-jet* di materiali funzionali per svariate applicazioni, sia su substrati rigidi che su substrati flessibili (box a pag. 82).

Il laboratorio che la racchiude: MINA-PRINT, "Micro and NANO PRINTing technologies", in parte finanziato dal progetto CAMPEC (Centro di ricerca in materiali plastici e finalizzato allo sviluppo di materiali innovativi ed alle loro applicazioni in particolare nel campo ambientale) nasce per agire da laboratorio aperto per il decollo di questa tecnologia, in collaborazione con le industrie. L'appar-

recchiatura è stata congegnata per sperimentare la stampa di una grande varietà di inchiostri a base di solventi e materiali UV curabili. Il sistema di gestione della macchina fa uso di programmi software CAD per l'introduzione dei parametri di movimentazione della testina. Questo permette l'esecuzione di percorsi di stampa arbitrari anche molto complessi. La sezione di post trattamento, inoltre, permette l'essiccazione e la cura degli inchiostri, in linea con il sistema di stampa.

L'apparecchiatura descritta troverà una prima applicazione nell'ambito delle ricerche del Laboratorio Pubblico-Privato TRIPODE (Tecnologie e Ricerca per la applicazione dei POLimeri nei Dispositivi Elettronici) iniziato ufficialmente il 1° ottobre 2006. A tale laboratorio, partecipano l'ENEA, IMAST - Distretto Tecnologico sull'Ingegneria dei materiali polimerici e compositi e strutture - Portici, Università di Salerno.

Tale progetto riguarda l'utilizzo dei materiali polimerici in microelettronica, che rappresenta una nuova frontiera, aperta verso l'estensione a nuovi prodotti come *display* flessibili, *smart card*, sensori e alimentatori integrati nei film polimerici ecc.. Tramite l'*ink-jet* si vuole studiare la possibilità di abbassare i costi e la complessità dei processi di produzione di dispositivi a film.

Le prime prove di stampa condotte in questo senso hanno permesso la definizione di procedure sperimentali propedeutiche alla produzione dei dispositivi elettronici e sensoristici. Ciò comporterà la caratterizzazione degli inchiostri funzionali prescelti, lo studio dei parametri *ink-jet* di processo, la realizzazione di linee e figure complesse (superfici tipo pixel), la caratterizzazione finale dei prodotti stampati per l'individuazione dei parametri critici da ottimizzare. Al momento si è comincia-

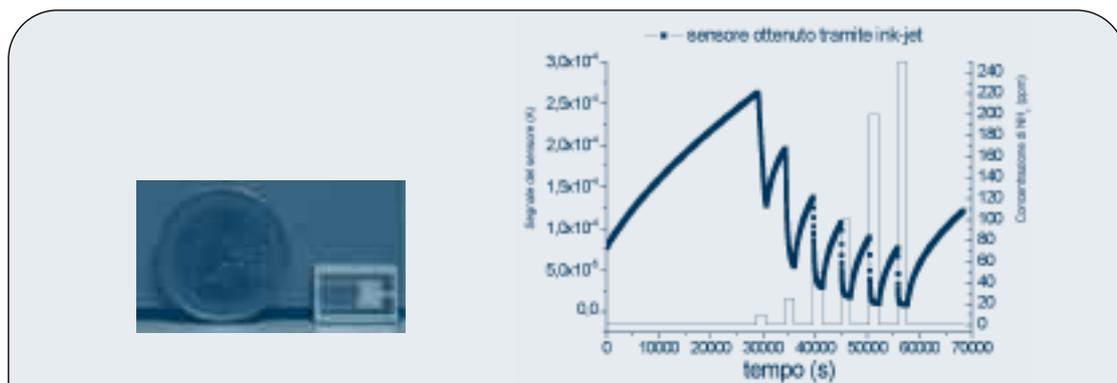


Figura 10
 Sensore di ammoniaca realizzato nei laboratori ENEA di Portici mediante deposizione ink-jet di una sospensione di polianilina su allumina (sinistra)[33]. Il sensore, realizzabile anche su microchip di silicio, risponde a diverse concentrazioni di ammoniaca in aria (destra)

ta ad indagare la deposizione di sospensioni di inchiostri polimerici conduttori quali ad esempio il PEDOT/PSS e la polianilina. Con quest'ultimo polimero è stato fabbricato un sensore chemiresistivo di ammoniaca, stampando con l'*ink-jet* strisce di polianilina su un pettine di contatti d'oro depositati su allumina (figura 10)[33]. Le prove di caratterizzazione del sensore in camera di test in condizioni di umidità e temperatura controllate hanno dato esiti positivi.

Conclusioni

Sfruttando l'ampio *know-how* ereditato dalla tecnica di stampa *ink-jet* per applicazioni grafiche, è oggi possibile impiegare questa tecnologia per una serie di applicazioni *high-tech*, inclusa l'elettronica.

La capacità di depositare quantità microscopiche e controllate di materiale, in film sottile, in posizioni accuratamente determinate, e la possibilità di realizzare direttamente i microdisegni che sono necessari alla realizzazione di strutture e componenti, rendono questa tecnologia assai attraente per lo sviluppo di sensori e dispositivi elettronici a bas-

so costo, evitando la più sofisticata, accurata e costosa procedura di fotolitografia. Ancora prima, questa tecnica potrà essere impiegata per ottenere direttamente strutture 2D e 3D di singoli materiali, utili per innumerevoli applicazioni.

Tenuti in conto gli inevitabili limiti dei materiali stampabili per *ink-jet*, nelle prestazioni (inferiori a quelli dell'elettronica convenzionale) e nella risoluzione (solo micrometrica, e mai nanometrica), è possibile concepire e realizzare micro-dispositivi con dimensioni minime di pochi micron, e micro-strutture depositabili su aree fino a 2 m x 2 m.

La stampa IJP è anche adattissima a produzioni prototipali e alla realizzazione di prodotti con alta varietà di disegno.

Queste condizioni aprono alla tecnologia una vastissima gamma di innovazioni per prodotti a basso costo.

ENEA - Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

Per informazioni
 dario.dellasala@casaccia.enea.it



Bibliografia

- [1] IQ Durable Edible Inks, in:
<http://www.iqdurableink.com>
- [2] H. P. Le J. Imaging Science and Technology 42 (1998) *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*, parts 1-3.
- [3] H. P. Le J. Imaging Science and Technology 42 (1998) *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*, part 4.
- [4] Canon i990 specifications, in:
<http://www.shop.canon.com.hk/webapp/commerce/command/ProductDisplay?lang=e&prmenbr=1&prfnbr=1669#More>.
- [5] H. P. Le J. Imaging Science and Technology 42 (1998) *Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology*, part 5.
- [6] http://www.vutek.com/products/p_5300.asp.
- [7] K. Pianoforte The specialty ink report. in:
<http://www.inkworldmagazine.com/articles/2003/10/the-specialty-ink-report.php>.
- [8] J. E. Fromm, IBM J. Res. Develop. 28(3), 1984 p.322.
- [9] K.A.M. Seerden, N. Reis, J. R. Evans, P. S. Grant, J. W. Halloran, B. Derby, J. Am. Ceram. Soc. 84(11), 2001 p. 2514.
- [10] MicroFab Technote 99-02 - fluid properties effects on IJ device performance, 28 Sept. 1999.
- [11] MicroFab Technote 99-03 - drive waveform effects on IJ device performance, 30 Sept. 1999.
- [12] MicroFab Technote 99-04 - orifice diameter effects, 30 Sept. 1999.
- [13] M. R. Davidson, J. J. Cooper-White Proc. 3rd Int. Conf. on CFD in the Minerals and Process Industries 10-12 dec. 2003, p. 403.
- [14] M. R. Davidson, J. J. Cooper-White, V. Tirtaatmadja, Anziam. J. 45 (E) p. C405, 2004.
- [15] B. Derby, Inkjet printing of electronic materials - Manchester MatResCentre, presentazione.
- [16] D. B. van Dam, C. Le Clerc, J. Phys. Fluids 16(9), 2004 p.3403.
- [17] H. Y. Kim, J. H. Chun, Phys. Fluids 13, 2001 p. 643.
- [18] B. J. de Gans, P. C. Duineveld, U. S. Schubert, Adv. Mater. 16(3), 2004 p. 203.
- [19] G. G. Rozemberg, E. Bresler, S. P. Speakman, C. Jeynes, J. H. G. Steinke Appl., Phys. Lett. 81(27), 2002 p. 5249.
- [20] H. M. Nur, J. H. Song, J. G. R. Evans, M. J. Edirisinghe J. Mat. Sci. Materials in Electronics 13, 2002 p.213.
- [21] T. Kaydanova, A. Miedaner, C. Curtis, J. Perkins, J. Alleman, D. Ginley, Proc. NCPV and Solar Program Review Meeting, p.919.
- [22] J. Chung, S. Ko, N. R. Bieri, C. P. Grigoropoulos, D. Poulikakos, Appl. Phys. Lett. 84(5), 2004 p. 801
- [23] http://www.harima.co.jp/products/electronics/e_series_frame.html
- [24] T. Shimoda, K. Morii, S. Seki, H. Kiguchi, *Inkjet printing of functional materials*, MRS Bull. 28,11 (2003), p. 821.
- [25] L. T. Creagh, presented at: Printed Electronics – Impact on Printing and packaging Pira International, Jan. 20-21, 2004 Leatherhead UK.
- [26] S. E. Burns, P. Cain, J. Mills, J. Wang, H. Siringhaus, *Inkjet printing of functional materials*, MRS Bull. 28,11 (2003), p. 829.
- [27] A. C. Arias, S. E. Ready, R. Lujan, W. S. Wong, K. E. Paul, A. Salleo, M. L. Chabinyc, R. Apte, R. A. Street, Y. Wu, P. Liu, B. Ong, Appl. Phys. Lett. 85(15), 2004 p. 3304.
- [28] M. M. Mohebi, J. R. G. Evans, J. Comb. Chem. 4, 2002 p. 267.
- [29] A. Pfister, R. Landers, A. Laib, U. Huebner, R. Schmelzeisen, R. Muhelaup, J. Pol. Sci. A-42, 2004 p. 624.
- [30] V. Mironov, T. Boland, T. Trusk, G. Forgacs, R.R. Markwald, Trends in Biotech. 21(4), 2003 p. 157.
- [31] F. G. Zaugg, P. Wagner, *Inkjet printing of functional materials*, MRS Bull. 28,11, 2003, p. 837.
- [32] D. Albertalli, SID Symposium Digest 36, 1200 (2005).
- [33] F. Loffredo, G. Burrasca, L. Quercia, D. Della Sala, *Gas sensor devices obtained by ink-jet printing of polyaniline suspensions* accettato da Macromolecules Symposia, n. 247, p. 357, 2007.

Il nucleare di quarta generazione

A cura di Emilio Santoro

L'espressione "reattori di quarta generazione" è stata coniata negli USA in relazione ad un progetto del DoE (Department of Energy – Dipartimento dell'Energia) iniziato nel 2000, noto come "Generation (Gen) IV Initiative", promosso dagli Stati Uniti con la partecipazione di Argentina, Brasile, Canada, Francia, Giappone, Corea del Sud, Sud Africa, Svizzera e Regno Unito. Tale progetto ha come obiettivo lo studio di reattori e di cicli del combustibile innovativi capaci di garantire la "sostenibilità" della fonte nucleare (utilizzo efficiente del combustibile e minimizzazione dei rifiuti), nonché di permettere lo sviluppo di applicazioni dell'energia nucleare parallele alla produzione di energia elettrica (uso industriale del calore e desalinizzazione dell'acqua marina).

Il progetto mira a mettere in commercio nei prossimi decenni una "quarta generazione" di reattori a fissione con caratteristiche migliori rispetto a quelle delle tre generazioni precedenti (figura 1). Queste ultime sono in particolare:

Gen I: i primi impianti di bassa potenza (qualche decina o centinaia di MW) costruiti negli ultimi anni 50 e primi anni 60.

Gen II: gli impianti di tipo LWR (Light Water Reactor, cioè Reattore ad Acqua Leggera), di grande potenza (dell'ordine di 1000 MW) realizzati nelle due filiere, rispettivamente ad acqua bollente (BWR: Boiling Water Reactor) e ad acqua pressurizzata (PWR: Pressurized Water Reactor). Sono di questo tipo quasi tutti gli impianti in funzione negli USA, e per fare un esempio più vicino a noi, era un BWR da 860 MW il reattore di Caorso.

Gen III: impianti di tipo PWR, installati a partire dagli anni 90 soprattutto in Giappone e Corea, come evoluzioni più affidabili e meno costose degli impianti PWR Gen II. Si tratta di una nuova generazione di reattori che beneficiano della vasta esperienza acquisita nella Gen II e dalla lezione appresa durante l'evoluzione dell'incidente di Three Mile Island (TMI), in USA, nel 1979. I reattori ad acqua sono ancora dominanti, ma vengono introdotti nuovi miglioramenti per aumentare la sicurezza, benché la competitività economica resti l'obiettivo principale. Diversi sono gli approcci nella competizione industriale: gli impianti sono di piccola/grande taglia, con maggiore attenzione alla sicurezza passiva/attiva. La mitigazione delle conseguenze di un eventuale incidente grave è comunque un aspetto di particolare rilevanza, in questa tipologia di reattori.

Gen IV: rappresenta invece un progetto non evolutivo ma rivoluzionario. Le più importanti caratteristiche innovative rispetto a quelle dei reattori attuali sono:

- migliore utilizzazione del combustibile nucleare. Contemporaneamente si renderebbe più difficile il recupero di materiale fissile a scopo bellico dal combustibile esausto e verrebbe diminuita la quantità di isotopi radioattivi a lunga vita media presenti nel combustibile esaurito;
- funzionamento a temperature molto più elevate: questo consentirebbe sia di migliorare l'efficienza termodinamica nella produzione di potenza elettrica sia di ottenere, con processi termochimici ed elettrochimici ad alta efficienza, idrogeno da usare come carburante per veicoli a bassissime emissioni;
- smaltimento sicuro e passivo, cioè senza intervento massiccio di sistemi esterni di pompaggio, della potenza termica generata dal decadimento dei prodotti di fissione nel caso di arresto d'emergenza del reattore. Questo aspetto è particolarmente critico per la sicurezza di funzionamento, come si è visto nel caso dell'incidente di TMI, nel

quale la perdita dell'acqua di refrigerazione provocò il surriscaldamento degli elementi di combustibile con la formazione di una bolla di idrogeno e ossigeno che avrebbe potuto provocare un'esplosione, e che per fortuna fu eliminata senza danni solo dopo molti sforzi. In estrema sintesi, vengono individuati sei tipi (concetti) di reattori a fissione, tre a neutroni lenti:

VHTR *Very-High-Temperature Reactor System*, reattore nucleare a temperatura molto alta;

SCWR *Supercritical-Water-Cooled Reactor System*, reattore nucleare ad acqua supercritica;

MSR *Molten Salt Reactor System*, reattore nucleare a sali fusi;

e tre a neutroni veloci:

GFR *Gas-Cooled Fast Reactor System*, reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a gas;

SFR *Sodium-Cooled Fast Reactor System*, reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a sodio;

LFR *Lead-Cooled Fast Reactor System*, reattore nucleare a neutroni veloci refrigerato a piombo;

che nel giro di alcuni decenni verranno studiati, collaudati e poi immessi nell'uso commerciale.



Figura 1
(elaborato da: A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems)

In definitiva, la quarta generazione di sistemi nucleari dovrà essere autorizzata, costruita e fatta funzionare in maniera tale che fornisca energia in modo economico, tenendo in debito conto un ottimale uso delle risorse e al tempo stesso affrontando i problemi di sicurezza, dei rifiuti, di resistenza alla proliferazione e le preoccupazioni del pubblico di quei paesi dove tali sistemi verranno impiegati.

Lo sviluppo di questi nuovi sistemi richiede tempo e la loro introduzione su scala industriale è prevedibile verso il 2030 o oltre. L'impegno richiesto dal progetto è veramente considerevole sotto tutti gli aspetti (scientifico, tecnologico, organizzativo, finanziario). La strada di grandi progetti transnazionali sembra la sola percorribile con prospettive ragionevoli di successo.

Rapporto IPCC sull'impatto del clima

Il Summary per i decisori politici del Rapporto del Working Group II "Impatti, Adattamento e Vulnerabilità" dell'IPCC è stato approvato a Bruxelles il 6 aprile scorso. Per l'approvazione di questo sommario, che riporta in linguaggio non tecnico le principali conclusioni del rapporto scientifico e costituisce la seconda parte del "Quarto Rapporto IPCC", è stata necessaria una sessione plenaria IPCC costituita dai rappresentanti governativi dei

paesi aderenti alle Nazioni Unite, e le sue conclusioni e raccomandazioni saranno portate all'attenzione del prossimo Vertice del G8. Lo scenario tracciato prevede un aumento della temperatura a livello planetario di oltre 2-3 gradi centigradi e ciò si tradurrà in costi supplementari; ma c'è anche una possibile estinzione del 30% delle specie, e il rischio che per il 2080 tra 1,1 e 3,2 miliardi di persone avranno difficoltà a reperire acqua e 600 milioni soffriranno la fame. Si parla inoltre dell'aggravarsi del fenomeno della siccità e della progressiva riduzione dei ghiacciai con impatti gravi per centinaia di milioni di persone. E, infine, si lancia l'allarme per l'intensificazione delle gravi inondazioni costiere.

Saranno perciò necessarie - ha detto Martin Parry, copresidente del gruppo di lavoro dell'IPCC - misure di adattamento per far fronte a questi impatti, anche perché il riscaldamento è ormai inevitabile a causa delle emissioni passate mentre gli sforzi di attenuazione ci metteranno decenni prima di essere efficaci.

Nel Mediterraneo, l'Italia, la Spagna, il sud della Francia e la Grecia vedranno un incremento del caldo estivo simile a quello del 2003, che provocò 70.000 morti in 16 Stati europei. Si avrà inoltre un aumento degli incendi delle foreste e una riduzione di almeno un terzo delle riserve di acqua potabile. E, in aggiunta, il potenziale di energia idroelettrica si ridurrà del 20-50%. Mentre un po' in tutta Europa nei prossimi cento anni una percentuale importante della flora diverrà probabil-

mente vulnerabile, o in pericolo di estinzioni, e fra cinquant'anni l'Europa potrebbe perdere tutti i suoi ghiacciai e le Alpi, che stanno già subendo un riscaldamento superiore al resto dell'Europa occidentale, rischiano di perdere fino a due terzi delle stazioni sciistiche con un devastante impatto per l'economia delle aree alpine dedite anzitutto al turismo invernale. A preoccupare, però, è soprattutto l'impatto di questi "drammatici" mutamenti climatici sugli esseri umani e in particolare per le popolazioni dei Paesi in via di sviluppo. Aumenteranno infatti "malnutrizione e rischi legati alle malattie infettive e respiratorie", e si assisterà anche "all'incremento della mortalità dovuta a fenomeni più estremi, come canicola, alluvioni, tempeste e siccità, nonché l'aumento della frequenza delle malattie cardio-respiratorie per l'aumento dell'ozono".

Il commissario UE all'Ambiente Stavros Dimas sottolinea ancora una volta quanto sia urgente raggiungere un accordo globale sulla riduzione delle emissioni di gas serra e quanto sia importante per tutti noi adattarci ai cambiamenti climatici che sono già in atto. Dopo il vertice di marzo, nel quale l'UE si è impegnata entro il 2020 a tagliare le emissioni di CO₂ del 20% rispetto ai livelli del 1990, ad aumentare l'efficienza energetica del 20%, e a portare al 20% la quota di consumi energetici provenienti da fonti rinnovabili, la Commissione europea presenterà prima dell'estate un Libro Verde sull'adattamento ai cambiamenti del clima per concentrare l'attenzione sulle aree di intervento più urgenti.

dal Mondo

Rapporto IPCC
sull'impatto del clima

Cristalli italiani per il CERN

Il 28 marzo è partito, dal Centro ENEA della Casaccia diretto al CERN, il trasporto degli ultimi 800 cristalli ad altissima tecnologia degli oltre trentamila che compongono il calorimetro elettromagnetico a cristalli scintillanti da installare nell'esperimento CMS (Compact Muon Solenoid) del laboratorio europeo della fisica delle particelle di Ginevra. La costruzione del calorimetro è il frutto della collaborazione di fisici delle alte energie e della struttura della materia appartenenti a INFN ed ENEA, iniziata nel 1994 con lo studio

e lo sviluppo degli innovativi cristalli di tungstato di piombo. Nel 1997, a conclusione della fase di ricerca e sviluppo sui singoli componenti del rivelatore, i due Enti hanno siglato un Accordo di Collaborazione per istituire presso il CR ENEA della Casaccia un laboratorio congiunto per l'assemblaggio del calorimetro equipaggiato con strumenti scientifici di alta tecnologia sviluppati dall'INFN. Questo Laboratorio costituisce uno dei due Centri, l'altro è al CERN, presso i quali a livello mondiale avviene l'assemblaggio del rivelatore. I 30.600 monocristalli, ognuno dei quali è lungo 23 centimetri, sono stati caratterizzati (cioè ne sono state misurate tutte le proprietà fisiche), strumentati (quindi equipaggiati in modo da estrarre la luce che emettono quando le particelle li attraversano) e montati in strutture alveolari (a forma di trapezio). Man mano che venivano realizzati e montati in moduli, i cristalli sono stati assicurati in strutture dotate di ammortizzatori e sono stati periodicamente trasportati al CERN per la sistemazione definitiva nel rivelatore. Nell'occasione di quest'ultima spedizione si è svolta presso il Centro della Casaccia una cerimonia conclusiva alla presenza dei vertici degli enti e del management dell'esperimento CMS. Si tratta, infatti, di una grande impresa scientifica e tecnologica italiana che permetterà al nuovo acceleratore di particelle di Ginevra, il Large Hadron Collider (LHC), di cercare quel "bosone di Higgs", la particella che dà massa alle altre particelle, su cui si è scatenata una competizione scientifica tra gli europei e gli americani e che l'esperimento CMS, al quale

partecipano 155 istituti internazionali, dovrebbe infine rivelare.

L'Istituto di Tecnologia una necessità per l'Europa

Per accrescere la competitività dell'Europa a livello mondiale l'UE ha bisogno di uno spazio europeo dell'innovazione, che sia un catalizzatore di eccellenza. La proposta della Commissione europea del novembre scorso per la creazione dell'Istituto europeo di tecnologia (IET) è stata riaffermata recentemente dal presidente Barroso. Per l'organizzazione dell'IET si propone una piccola struttura centrale di gestione - comprendente personalità di alto profilo in rappresentanza del mondo delle imprese e della comunità scientifica - e una rete di "comunità della conoscenza e dell'innovazione" che ne attuerà i compiti associandosi attraverso joint-venture. Una volta che Parlamento europeo e Consiglio avranno adottato la proposta, l'IET potrebbe entrare in funzione nel 2008, con un bilancio stimato ad un massimo di 2,4 miliardi di euro per il periodo 2008-2013, finanziato da fonti pubbliche e private. L'Istituto sarà un faro di eccellenza in Europa nei settori dell'innovazione, della ricerca e dell'istruzione superiore, e un modello di riferimento per la collaborazione tra università, ricerca e imprese, che permetterà all'Europa di rispondere alle sfide di un'economia mondiale fondata sulla conoscenza sempre più globalizzata.

dall'Unione
Europea

Cristalli italiani
per il CERN

L'Istituto di Tecnologia
una necessità
per l'Europa

Firmato l'accordo per Archimede

Alla presenza del ministro dell'Ambiente Alfonso Pecoreo Scanio, di Gianni Silvestrini, del Ministero dello Sviluppo Economico, dell'assessore all'Ambiente della Regione Sicilia, Rossana Interlandi, e del premio Nobel Carlo Rubbia, il 26 marzo a Roma il direttore della Divisione Generazione ed Energy Management dell'ENEL Sandro Fontecedro, e il Presidente dell'ENEA Luigi Paganetto hanno firmato un protocollo d'intesa per realizzare il Progetto Archimede, il

primo impianto al mondo che integrerà un ciclo combinato a gas con un impianto solare termodinamico basato su una tecnologia fortemente innovativa elaborata dall'ENEA in questi ultimi anni su un'idea del professor Rubbia.

Nel progetto, il campo solare è composto da batterie di specchi parabolici che concentrano la luce diretta del sole su tubazioni percorse dal fluido a base di sali che ha la proprietà di accumulare il calore. In questo modo il calore, che può arrivare fino alla temperatura di 550 gradi, è disponibile in ogni momento della giornata e servirà a generare vapore ad alta pressione che, convogliato nelle turbine dell'adiacente impianto a ciclo combinato della centrale ENEL, incrementerà la produzione di energia elettrica dell'impianto, riducendo la necessità di bruciare combustibili fossili e migliorando quindi le prestazioni ambientali. Inoltre, i sali (a differenza dell'olio minerale finora utilizzato da impianti solari simili attualmente in esercizio) sono totalmente innocui per l'ambiente, anche in caso di fuoriuscite accidentali, e non sono infiammabili.

L'investimento complessivo per la realizzazione del progetto è di oltre 40 milioni di euro. L'entrata in esercizio, una volta completato l'iter autorizzativo, è prevista entro il 2009. Verrà realizzato subito un modulo di campo solare da 5 MW, che consentirà di produrre energia elettrica aggiuntiva da fonte solare capace di soddisfare il fabbisogno annuale di 4.500 fa-

miglie, un risparmio di circa 2.400 tonnellate equivalenti di petrolio all'anno, un taglio di emissioni di anidride carbonica pari a circa 7.300 tonnellate all'anno. Con questo progetto e con altre iniziative del Piano Ambientale, ha detto il direttore Fontecedro, ENEL intende sperimentare le soluzioni più avanzate per ridurre l'impatto sull'ambiente della produzione di energia elettrica. Il presidente Paganetto ha messo in risalto l'importanza di un progetto che vede la collaborazione di un'istituzione di ricerca come ENEA e di una grande azienda come ENEL. "È una grande sfida, ma sappiamo che se percorriamo questa strada siamo destinati a vincerla. La cosa importante è che abbiamo superato la fase di progetto e stiamo per realizzare il primo impianto affinché la tecnologia e l'innovazione di Archimede consentano alle imprese italiane del settore di guardare a un mercato che è di dimensioni mondiali".

Un portale per "acquisti verdi"

All'indirizzo internet www.greenlabelspurchase.net nasce il Portale per gli "Acquisti Verdi" a disposizione di istituzioni pubbliche e private. Il Portale costituirà un indispensabile supporto soprattutto per la Pubblica Amministrazione, per la quale l'acquisto di beni e servizi è vincolato a parametri di rispetto dell'ambiente, oltre che di qualità e di prezzo. Il Portale nasce nell'ambito del progetto comunitario "Eti-

dall'Italia

Firmato l'accordo per Archimede

Un portale per "acquisti verdi"

Il precariato nel lavoro scientifico

chette ecologiche per gli acquisti - come rendere più eco-efficiente l'approvvigionamento di beni e servizi con le eco-etichette", di cui l'ENEA è il responsabile per l'Italia, con cui si intende promuovere gli "Acquisti Verdi" da parte delle Pubbliche Amministrazioni e dei soggetti privati nei nove paesi dell'Unione Europea partecipanti all'iniziativa. Queste etichette, che hanno già avuto un positivo riscontro per gli elettrodomestici, hanno dimostrato di essere strumenti semplici ed efficaci a disposizione dei consumatori per scegliere gli apparecchi in base al consumo di energia e di altre risorse.

Il precariato nel lavoro scientifico

Un dato di fondo relativo al 'mercato' italiano del lavoro scientifico che desta preoccupazione è l'elevata età media dei ricercatori, dovuta anche al blocco delle assunzioni a tempo indeterminato negli enti pubblici di ricerca. Un altro dato, ad esso correlato, è che in Italia anche il precariato ha un'alta età media, tant'è che non è possibile parlare di questi studiosi come di 'giovani in formazione'. Ai ricercatori precari è dedicata l'indagine dell'Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali (Irrpps) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, pubblicata recentemente nel volume "Portati dal vento. Il nuovo mercato del lavoro scientifico" di Maria Carolina Brandi.

All'indagine hanno risposto, tramite questionario informatico pubblicato on-line sul sito dell'Irrpps, 798 ricercatori con contratto a termine di alcune Università e dei maggio-

ri Enti pubblici di ricerca italiani.

Dall'indagine emerge che più del 5% ha più di quarant'anni, il 21% è tra i 35 e i 39 anni, mentre più del 43% ha tra i 30 ed i 34 e solo il 31% ha 29 anni o meno. La causa è dovuta ai tempi di attesa: passano anche 5 anni prima che un ricercatore possa vedere stabilizzata la propria collaborazione. Tra gli intervistati il 60% dei casi aveva rapporti di lavoro in atto di durata intermedia (2-3 anni), ma il 32,3% usufruiva di contratti brevi (anche meno di un anno), mentre pochissimi (7,7%) avevano contratti di durata superiore ai tre anni. Un'incertezza che provoca stress e tensioni anche nella vita privata.

Per il 97,4% l'approssimarsi della scadenza del contratto, è causa di stress emotivo che il 59,3% dichiara 'forte'. Più dei tre quarti del campione (78,2%) è in cerca di un altro lavoro e circa il 60% crede che questa situazione influisca negativamente sul proprio lavoro. Praticamente, tutti gli intervistati (96,6%) denunciano effetti negativi: il 71,6% sul rapporto di coppia, l'89,7% su quello di paternità o maternità, l'89,3% sulla scelta dell'abitazione, il 91,7% sul bilancio familiare, l'87,2% sulla capacità di affrontare gli imprevisti e quasi tutti (95,6%) anche su altri aspetti della vita privata.

La produttività scientifica, invece, sembra non risentire dell'incertezza. "L'output scientifico del campione è elevato e nella media" secondo l'indagine "a conferma del fatto che esso dipende dalle capacità e dalla validità del gruppo e non dalla stabilità del rapporto di lavoro". Tra le tipologie contrattuali più

frequenti, circa il 10% ha avuto un contratto a tempo determinato e un'analogha percentuale un assegno di ricerca; i 'co.co.co.' e le altre forme di collaborazione sono quasi il 36%, mentre i borsisti (inclusi i dottorandi) superano il 37%. Tra i fattori che incidono maggiormente sul rinnovo del contratto, per oltre il 78% dei borsisti, è determinante l'appoggio del coordinatore del gruppo, mentre molto meno contano i titoli scientifici. Nonostante le numerose difficoltà, emerge che la ricerca è una vera e propria scelta di vita per gli intervistati, una vocazione che di fatto scoraggia il passaggio ad altre professioni nelle quali si ritiene di avere possibilità di inserimento e anche con un salario più alto. La tendenza a sostituire il personale di ruolo con personale con contratto a termine è stata esplicitamente incentivata dalle politiche dei paesi maggiormente industrializzati nell'ultimo ventennio. La competizione, nel "mercato" della scienza diventa la strada giusta per ottenere i risultati migliori. Senza il posto fisso, il ricercatore flessibile sarebbe più produttivo e più libero da condizionamenti. Ma ai "flessibili" la flessibilità non piace e l'indagine, in conclusione, mostra che il rapporto di lavoro a termine non è una libera scelta, ma viene subito come una necessità. Solo una percentuale minima (meno del 5%) ritiene debba essere la nuova forma contrattuale da utilizzare in ambiente accademico, anche se oltre due terzi pensa che il contratto a tempo determinato sia accettabile nel mondo scientifico solo come periodo di formazione e selezione, limitato nel tempo.

Dalle piante un vaccino antipapilloma

Il Laboratorio di Virologia dell'Istituto Nazionale Tumori Regina Margherita (IRE) e l'ENEA con il Dipartimento Biotecnologie, Agroindustria e Protezione della Salute, grazie alla collaborazione con il Center for Molecular Biotechnology del Fraunhofer Institute, USA, utilizzando nuove tecnologie per la preparazione di proteine di fusione purificate da piante di tabacco, hanno messo a punto un vaccino per immunoterapia contro l'HPV 16, il virus asso-

ciato con maggior frequenza al cancro della cervice uterina.

Il lavoro è apparso in marzo sulla rivista internazionale *Vaccine*, dove viene presentato uno studio su modelli animali in cui si è ottenuta la guarigione di tumori sperimentalmente indotti.

Il vaccino è costituito da un antigene virale a cui è legata una proteina di origine batterica che ne esalta le capacità immunologiche.

Per la particolare formulazione, la semplicità di produzione e il basso costo di produzione, si prevede che, una volta superati gli idonei test di tossicità, potrà essere applicato per studi clinici di fase I nell'uomo.

Il vaccino, che dovrebbe avere una prossima distribuzione, di fatto costituisce un procedimento di immunoterapia ed è il primo contro i tumori; ma è sempre opportuno sottolineare che oltre a prevenire occorre pensare anche a strategie terapeutiche innovative per la popolazione a forte rischio di malattia.

Frascati, il Parco di Villa Sciarra dedicato alla scienza

Il 23 marzo scorso, a conclusione della XVII Settimana della cultura scientifica e tecnologica, la città di Frascati ha dedicato il Parco di Villa Sciarra alla scienza. In questo modo la città ha voluto rendere omaggio agli importanti insediamenti scientifici dell'ENEA, dell'INFN, del CNR e dell'ESA-ESRIN presenti nel proprio territorio, che hanno reso

famoso il suo nome nel mondo insieme al vino e alle ville. L'inaugurazione è avvenuta alla presenza del Sindaco, Francesco Paolo Posa, dei rappresentanti degli enti di ricerca, delle scuole, e delle associazioni ATA ed Eta-Carinae. Testimonial dell'evento l'astronauta ed europarlamentare Umberto Guidoni. I cittadini e gli studenti che frequentano ogni giorno la scuola materna ed elementare e il liceo potranno camminare lungo viali intitolati alle grandi scoperte e alle innovative macchine realizzate nell'area di ricerca di Frascati: Viale Frascati Tokamak Upgrade (FTU), Viale Sincrotrone, Viale Envisat.

«L'iniziativa - ha dichiarato il Sindaco - è l'importante riconoscimento agli uomini e le donne che, oltre cinquanta anni fa, iniziarono la loro "avventura" fatta di sacrificio, di passione e di studio in locali che un tempo erano poco più che strutture precarie, "le baracche" come affettuosamente venivano chiamate, oggi divenute centri di ricerca all'avanguardia che si incastonano nel verde delle nostre colline. L'intitolazione del Parco rappresenta un omaggio alla comunità scientifica e all'impegno di tanti operai, tecnici, impiegati e ricercatori che fanno di Frascati una realtà unica e peculiare nel panorama nazionale». Il Parco costituisce un'ulteriore importante tappa del progetto di diffusione permanente della cultura scientifica che va sotto il nome di *Frascati, Città Europea della Scienza*.

dall'ENEA

Dalle piante un vaccino antipapilloma

Frascati, il Parco di Villa Sciarra dedicato alla scienza

Il sistema "Atmosfera" per monitorare l'inquinamento urbano

Una nuova risorsa contro l'avitaminosi A

Il sistema "Atmosfera" per monitorare l'inquinamento urbano

Si è tenuta a Roma il 23 aprile, alla presenza del vice sindaco Maria Pia Garavaglia e dell'assessore alle Politiche Ambientali Dario Esposito, la presentazione del sistema Atmosfera dell'ENEA, la stazione automatica intelligente ad autoapprendimento, basata sulle reti neurali, capace di autoprogrammarsi per prevedere i livelli di inquinamento dell'aria. Rispetto agli attuali sistemi in uso, con Atmosfera ogni centralina potrà individuare i singoli inquinanti con previsioni di dettaglio su base oraria, superando la genericità delle medie giornaliera.

Atmosfera è un sofisticato sistema tecnologico di previsione-misurazione degli inquinanti, che si configura come strumento unico per comprendere gli 'umori', i comportamenti dello smog e per stabilire strategie mirate ed effettivamente efficaci di contrasto all'inquinamento. Le reti neurali su cui è basato il sistema permettono di sapere con un anticipo fino a tre giorni quali sostanze inquinanti si concentreranno negli specifici luoghi in cui avviene la misurazione. Queste capacità derivano dall'analisi del vento, dei movimenti delle masse d'aria e delle dinamiche meteo nei bassi strati dell'atmosfera.

Il progetto di ricerca che ha permesso di realizzare Atmosfera ha avuto a disposizione come laboratorio la città di Roma, ed è già stato adotta-

to dal Comune di Milano nel 2005 e dal Comune di Napoli nel 2006.

Il sistema di previsione degli inquinanti utilizza un modello dinamico che fornisce dettagliate indicazioni sulla loro tendenza attraverso l'impiego di reti neurali. Dal 2004 il cuore di Atmosfera è SODAR (SOund Detecting And Ranging), un tele-sensore che rileva, tramite onde acustiche, gli andamenti del vento (in orizzontale e in verticale) e della struttura termica alle quote significative per l'inquinamento urbano. Ogni singola Stazione Automatica Intelligente dedicata ad una realtà urbana è in grado di prevedere, a 24-48-72 ore, le concentrazioni dei principali inquinanti su aree urbane: CO (monossido di carbonio), SO₂ (biossido di zolfo), O₃ (ozono), PM10 (particolato di polveri sospese), NO e NO₂ (ossidi di azoto), C₆H₆ (benzene). Perciò Atmosfera è in grado di prevedere 'a grana fine' i livelli di inquinamento urbano monitorando le masse d'aria sulle città, intervenire prima (e non dopo) con azioni mirate, valutare rigorosamente l'efficacia delle misure adottate.

Una nuova risorsa contro l'avitaminosi A

Sono stati pubblicati all'inizio di aprile sulla rivista scientifica *Plus One* i risultati del lavoro di ricerca condotto in collaborazione tra i laboratori di Biotecnologie dell'ENEA e dell'Università tedesca di Friburgo per la produzione di una nuova varietà di patata, arricchita di vitamina A. La collaborazione tra i due gruppi di ricerca aveva già dato vita a diverse varietà di piante arricchite di beta-carotene.

La nuova varietà, *Golden Potato*, tramite tecniche di ingegneria genetica, risulta arricchita di beta-carotene, il cui contenuto di provitamina A è stato aumentato di circa 3.600 volte. Bastano 250 grammi di *Golden Potato* per assumere il 50% di vitamina A della dose giornaliera consigliata (RDA), a fronte di una quantità pari a 900 kg della varietà originaria (la *Desirée*). La carenza di Vitamina A è una delle principali forme di denutrizione nel mondo, che provoca diverse malattie, tra le quali la perdita della vista: l'OMS nel 2002 ha stimato che ogni anno 350mila bambini diventano ciechi per l'avitaminosi A.

La patata, che costituisce la quarta fonte alimentare di calorie per l'alimentazione umana dopo il grano, il riso e il mais, appartiene alla famiglia delle *Solanacee* (come i peperoni, i pomodori e le melanzane) e l'uomo ha cominciato a coltivarla circa 2.000 anni fa, sulle montagne del Sudamerica. I paesi dell'Africa, Sudamerica ed Europa orientale - dove la coltivazione della patata è già praticata e che risultano essere aree geografiche in cui l'avitaminosi A è diffusa e le fonti alimentari di beta-carotene sono scarse - potranno ora usufruire di questa nuova varietà senza un aggravio economico perché la *Golden Potato* non è coperta da brevetto ed è a disposizione di chiunque voglia utilizzarla in programmi di "breeding" (il processo che riguarda la riproduzione sessuale e la produzione della discendenza) nel rispetto delle normative esistenti.

Rapporto Energia e Ambiente 2006

Alcuni effetti dei cambiamenti climatici sono già sensibili, tanto che nei prossimi anni la domanda energetica non potrà essere soddisfatta dalle tecnologie tradizionali senza aumentare fortemente la pressione sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Pertanto, in una prospettiva di crescita sostenibile, sarà sempre più decisiva la capacità di un Paese di ricorrere a nuove tecnologie, capaci di soddisfare la domanda riducendo al minimo tali pressioni. È questo, in estrema sintesi il messaggio che viene indicato dal Rapporto ENEA *Energia e Ambiente*

2006 presentato a Roma il 12 aprile, presso la sede dell'ENEA, dal presidente Luigi Paganetto, alla presenza dei ministri Alfonso Pecoraro Scanio, Fabio Mussi, Pierluigi Bersani e Luigi Nicolais. Giunto alla VII edizione, il Rapporto, oltre ai due tradizionali volumi - uno dedicato agli aspetti complessivi della situazione energetico-ambientale, l'altro agli approfondimenti statistici - è quest'anno composto da un terzo volume, *Analisi e Scenari*, destinato ad informare una più vasta platea. Ultimamente l'attenzione dell'opinione pubblica ai problemi energetici e ambientali è notevolmente aumentata. L'influenza dell'uomo nell'alterazione del sistema climatico e la necessità di intervenire sui modelli di consumo al fine di garantire uno sviluppo sostenibile sono idee che, ormai, si affermano sempre più, anche a livello politico. Sono aumentate, ha precisato Paganetto, le preoccupazioni per la sicurezza degli approvvigionamenti, dettate da ragioni geopolitiche e dalle prospettive di esaurimento delle fonti fossili che si pongono, comunque, alle prossime generazioni.

L'Unione Europea ha recentemente varato una serie di provvedimenti che vincolano il percorso da intraprendere da qui al 2020, per contrastare gli effetti del consumo energetico sul clima. Almeno il 20% dell'energia primaria dovrà essere prodotta con fonti rinnovabili, le emissioni in atmosfera dovranno essere ridotte del 20% così come il risparmio di energia che si intende ottenere soprattutto attraverso il miglio-

ramento dell'efficienza energetica. Si tratta di misure che incideranno in maniera sostanziale sul modo di produrre e di consumare energia, e costituiranno per diversi paesi dell'Unione, compresa l'Italia, oltre che una grande sfida per la competitività della propria economia, anche una grossa opportunità per lo sviluppo e l'innovazione. Da parte sua l'ENEA, attraverso le esperienze maturate e i risultati conseguiti nell'ambito di progetti di ricerca, si è posto il compito di analizzare i cambiamenti in atto, in particolare nel Mediterraneo e in Italia, mettendo in evidenza gli impatti registrati, le tendenze attuali e gli scenari futuri.

Il Rapporto mostra come l'analisi dei processi in atto e la valutazione degli effetti economici consentano di identificare gli interventi necessari per salvaguardare il nostro territorio attraverso politiche e strategie di adattamento. Infatti, anche un incremento della temperatura di 2 °C soltanto porterebbe gravi danni al nostro sistema ambientale; è quindi necessario approfondire tali analisi e valutare gli interventi da mettere in atto nonché i relativi costi. Per quanto riguarda, poi, la mitigazione delle cause del riscaldamento globale, hanno una importanza fondamentale le tecnologie e la loro introduzione nel sistema energetico. Per una valutazione delle prospettive di evoluzione del sistema energetico nazionale (in particolare, delle emissioni di gas serra), l'ENEA ha realizzato specifiche analisi di scenario: l'evoluzione tendenziale del sistema è stata confrontata con

Incontri

Rapporto Energia e Ambiente 2006

Conferenza Internazionale di Robotica

XVII Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica

quella risultante da scenari di intervento, costruiti per esplorare la realizzabilità e l'efficacia di alcune misure, volte a garantire la sicurezza energetica del Paese e la sua competitività economica, nell'ottica della salvaguardia dell'ambiente.

Conferenza Internazionale di Robotica

Dal 10 al 14 aprile si è svolta a Roma Iera2007, la Conferenza Internazionale di Robotica e Automazione, l'appuntamento mondiale più importante del settore che per la prima volta è stato ospitato in Italia.

La rassegna, organizzata dalla Società internazionale di robotica e automazione (Iera), arrivata ormai alla ventiquattresima edizione, è stata organizzata in Europa solo tre volte e vi ritornerà nel 2013.

Al convegno hanno partecipare oltre 1300 tra scienziati ed esperti di robotica, tra i quali anche importanti nomi ed esperti in discipline diverse, quali l'artista e scienziato Ken Goldberg dell'Università della California a Berkeley e il professore dell'università di Tokyo Katsushi Ikeuchi. I lavori sono stati aperti da Alain Berthoz, del Consiglio nazionale delle ricerche francese, uno dei maggiori esperti di fisiologia e percezione del movimento, che considera il cervello come una sorta di simulatore in grado di elaborare in continuazione modelli capaci di anticipare ogni movimento in funzione dell'ambiente circostante.

Tra le varie tematiche discusse

non è mancata una importante sessione dedicata alla Roboetica, con un workshop organizzato dalla Technical Committee della Iera Robotics & Automation Society.

Nel corso della sessione è stata presentata la prima Roadmap sulla Roboetica, frutto di un progetto internazionale realizzato dalla Scuola di Robotica: il Progetto, denominato Roboethics Atelier, cerca di realizzare una prima traccia e un primo insieme di linee guida per affrontare la costruzione di un'etica applicata alla robotica il più universale possibile.

Ha altresì suscitato interesse il Panel su "The Future of Robot Operating Systems" con l'intervento di Tandy Trower di Microsoft Research, direttore del progetto Robotics Studio, che ha parlato anche di quanto scritto recentemente da Bill Gates su "Un robot in ogni casa", un tema che si ricollega a quello del convegno "Ubiquitous Robotica" (Robotica ovunque). Alla manifestazione di Roma, inoltre, 25 espositori hanno presentato le ultime novità del settore, dalle aziende leader alle società di spin-off che si sono via via affermate negli ultimi anni.

XVII Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologica

Il tema scelto quest'anno dal Ministero dell'Università e della Ricerca per la XVII Settimana della Cultura Scientifica e Tecnologi-

ca, che si è svolta dal 19 al 25 marzo, è stato *La natura e la civiltà delle macchine*.

È opportuno, quanto mai oggi, ridiscutere il rapporto tra il naturale e l'artificiale, inserendo la tematica globale delle macchine come strumenti che la nostra specie utilizza per modificare la natura sulla base dei bisogni da soddisfare.

Pur dovendo tener conto delle contraddizioni connesse all'espansione dei consumi, è difficile negare i benefici di ogni genere apportati alla qualità della vita. La manifestazione di quest'anno ha inteso continuare nella diffusione della cultura tecnico-scientifica, avviando iniziative di comunicazione e di scambio tra il cittadino e il mondo della ricerca con l'obiettivo della divulgazione, a partire dal contesto privilegiato della formazione scolastica, dei temi dell'energia, dell'ambiente e delle scoperte scientifiche del XX secolo.

Presso università, enti di ricerca pubblici e privati, musei, aziende e associazioni vi sono laboratori specialistici che hanno potuto mostrare l'attività di ricerca scientifica nel nostro Paese, di ieri e di oggi. Con l'intenzione di far vivere, soprattutto ai giovani, una esperienza importante in vista di scelte future, un orientamento verso un indirizzo preciso di studio e di lavoro.

L'ENEA ha proposto anche quest'anno un fitto calendario di eventi, aprendo al pubblico laboratori ed impianti dei propri Centri di Ricerca per illustrarne le attività e far conoscere i luoghi dove si svolgono i programmi di ricerca più avanzati.

Premiare il lavoro

*Come dare opportunità
a chi rischia
l'emarginazione*

Edmund Phelps
GLF Editori Laterza, 2006,
pagine 225, €8,50

"Consiglio di leggere questo libro, il cui contenuto (...) continuerà a turbare e a intrigare per le novità delle questioni sollevate e per l'eterodossia (...) delle soluzioni proposte". Così nella Prefazione Luigi Spaventa invita a leggere un libro scritto nel 1997 e uscito in Italia nel 1999, ma che ritor-

na prepotentemente alla ribalta sull'onda del Nobel per l'economia assegnato nell'ottobre scorso al settantatreenne professore di economia politica alla Columbia University per la sua analisi delle relazioni fra gli effetti a breve e lungo termine delle politiche economiche. Phelps, tra l'altro è pure un buon conoscitore del nostro Paese essendo stato professore agli annuali seminari internazionali dell'Università Tor Vergata che lo ha anche insignito della laurea honoris causa.

Come recita il sottotitolo "Come dare opportunità a chi rischia l'emarginazione" gli incentivi nella politica economica devono rappresentare una opportunità non solo per i disoccupati ma più in particolare per quelli che hanno redditi troppo bassi, che cercano lavoro e che hanno la volontà di avviare una attività economica. Il metodo indicato da Phelps è di concedere sussidi all'occupazione come crediti di imposta che vengono elargiti alle imprese che impiegano in modo continuativo lavoratori a basso salario. Perché proprio quei lavoratori, inseriti precariamente nell'economia capitalista, stanno perdendo il loro senso di responsabilità sociale. I sussidi, allora, inducono le imprese ad assumere più lavoratori a basso salario, incrementandone l'occupazione; e i salari salgono fintanto che le imprese, interessate a ripristinare gli incentivi ai dipendenti, possono permettersi di concedere au-

menti in virtù dei sussidi. Si accresce così la coesione sociale e si allarga l'inserimento nella sfera economica.

Ai tanti interrogativi che una simile proposta suscita (cosa c'è di tanto prezioso nel lavorare e guadagnare? Quale sicurezza c'è che il piano dei sussidi accresca le opportunità economiche dei meno pagati? e così via) il saggio di Phelps cerca di dare risposte soddisfacenti, anche se il professore si affretta a precisare che i sussidi all'occupazione non sono uno strumento perfetto che può risolvere rapidamente i problemi sociali degli ultimi decenni. Tuttavia è un sistema efficace per rinnovare le opportunità perdute di lavoro e la condizione di autosufficienza economica di significative fasce della popolazione, "ripristinandone l'inserimento nell'attività produttiva e la coesione sociale, e recuperandone il senso di responsabilità verso se stessi e gli altri".

La soluzione proposta dall'autore, secondo Spaventa, ha due grandi pregi: distoglie risorse dal finanziamento del non lavoro (i cosiddetti lavori socialmente utili che lasciano intatti emarginazione, precariato e consapevolezza del mancato inserimento) per destinarle a finanziare lavoro vero e stabile. Facendo passare queste risorse attraverso l'impresa, e perciò il mercato, siamo in presenza di una soluzione che, come la definisce Phelps, "mira a risultati di sinistra con mezzi di destra".



Letture

Premiare il lavoro