

Anche in questo numero della Rivista torniamo a occuparci del tema dell'energia nucleare, ormai da vari mesi di nuovo al centro dell'interesse del mondo politico, oltre che, ovviamente, di quello scientifico.

I tre articoli iniziali riguardano gli aspetti della sicurezza che, senza alcun dubbio, rappresenta in questo campo uno di quelli più importanti e delicati, che si è posto fin dagli inizi della produzione da questa fonte onde prevenire possibili effetti negativi sulla popolazione e sull'ambiente.

In questo quadro, una funzione decisiva è svolta dal processo di qualificazione di apparati e componenti dei sistemi di sicurezza. L'articolo di Baccaro e D'Atanasio presenta le competenze pluriennali di ENEA e le sue strutture sperimentali: il laboratorio per le Prove Dinamiche e Ambientali, quello per la Compatibilità Elettromagnetica, l'impianto per l'Irraggiamento Gamma Calliope. Si tratta di impianti in qualche caso unici in Italia e non molto comuni in Europa.

Il primo dei due articoli di Ansaldo Nucleare SpA, di Fabrizio Bianco, illustra i programmi specifici di garanzia e controllo di qualità che i vari soggetti coinvolti nella gestione di componenti e sistemi devono attuare per garantire che questi mantengano le loro prestazioni, per tutta la vita dell'impianto, anche in caso di incidente.

Nel secondo, Federico Fortunato esamina gli impianti nucleari sviluppati dall'industria del settore negli ultimi anni, che presentano maggiori livelli di affidabilità e sicurezza, e ai quali l'industria italiana ha partecipato, in termini di ricerca e progettazione, mantenendo vive le conoscenze e competenze scientifiche e tecnologiche necessarie per i processi di qualifica di sistemi e componenti dei reattori di nuova generazione.

I trasporti, soprattutto quelli su gomma, rappresentano uno dei settori a maggior consumo energetico e a maggior impatto sull'ambiente, in termini di inquinamento atmosferico e di contributo ai cambiamenti climatici. L'individuazione di nuovi sistemi di trazione e di nuovi carburanti appare dunque un'azione prioritaria per ridurre l'impatto del settore. Di Mario, Mattucci e Ronchetti affrontano in modo ampio e approfondito la questione e, per fornire ai lettori l'analisi in tutta la sua completezza, abbiamo deciso di pubblicarla in due parti. In questa prima parte gli autori mettono a confronto le varie soluzioni tecnologiche più promettenti, individuandone i vantaggi e i limiti attuali. Nel prossimo numero della Rivista, sarà pubblicata la seconda parte, che presenterà le prospettive di mercato di tali tecnologie.

Gli impianti per la produzione di energia alimentati da fonti rinnovabili stanno incontrando in questi ultimi anni una crescente opposizione da parte delle popolazioni dei territori nei quali è prevista la loro installazione. Alessandro Caramis, dell'Università di Roma La Sapienza, ne individua il motivo nell'insufficiente attenzione posta da chi intende realizzare gli impianti, al territorio, ai suoi valori, alle sue vocazioni, al suo sviluppo. Tale carenza fa sì che interessi di carattere globale, quale ad esempio la lotta ai cambiamenti climatici, entrino in conflitto con quelli locali.

Lo scorso anno abbiamo presentato un contributo che illustrava i risultati del sistema delle detrazioni fiscali del 55% per gli interventi di risparmio energetico negli edifici esistenti, previste dalla legge 27 dicembre 2006, n. 296. L'ENEA, che in base a tale legge è incaricata di presentare annualmente un rapporto di valutazione, ha presentato quello relativo all'anno fiscale 2008. Nocera e Rosciarelli, nel loro articolo, illustrano i dati salienti del rapporto, evidenziandone i risultati positivi, ma anche alcuni limiti sui quali occorrerebbe intervenire.

Coletta, Daroda, Palma e Presenti analizzano il tema del trasferimento tecnologico e della competitività nel sistema agro-alimentare, che rappresenta un settore strategico nel Paese, evidenziando il ruolo svolto da ENEA in tale processo a favore della piccola e media industria.

Loris Pietrelli, infine, presenta i risultati dell'utilizzo del chitosano per il trattamento dei reflui dell'industria tessile.

Il Direttore Responsabile
Flavio Giovanni Conti

editoriale

primo piano

6

LA QUALIFICAZIONE DI COMPONENTI E SISTEMI PER LA SICUREZZA NUCLEARE: COMPETENZE E STRUTTURE ENEA

COMPONENT AND SYSTEM QUALIFICATION FOR NUCLEAR SAFETY: ENEA EXPERTISE AND FACILITIES

Stefania Baccaro, Paolo D'Atanasio

riflettore su

22

QUALIFICAZIONE NUCLEARE PER SISTEMI DI SICUREZZA ELETTRICI E DI AUTOMAZIONE E CONTROLLO IN CENTRALI NUCLEARI DI III-III+ GENERAZIONE

NUCLEAR QUALIFICATION FOR ELECTRICAL SAFETY, AND AUTOMATION & CONTROL SYSTEMS IN III-III+ GENERATION NUCLEAR PLANTS

Fabrizio Bianco

28

SCENARIO INDUSTRIALE PER LE ATTIVITÀ DI QUALIFICA DI SISTEMI E COMPONENTI NEGLI IMPIANTI NUCLEARI

THE INDUSTRIAL SCENARIO FOR NUCLEAR PLANT COMPONENT AND SYSTEM QUALIFICATION

Federico Fortunato

33

LE POSSIBILI TECNOLOGIE VEICOLARI DEL FUTURO: CARATTERISTICHE E PROBLEMI APERTI

POSSIBLE FUTURE VEHICLE TECHNOLOGIES: CHARACTERISTICS AND PROBLEMS TO BE SOLVED

Francesco Di Mario, Antonio Mattucci, Marina Ronchetti

50

LE ENERGIE RINNOVABILI TRA OBIETTIVI GLOBALI E OPPOSIZIONI LOCALI: UNA VALUTAZIONE RETROSPETTIVA

RENEWABLE ENERGY AMONG GLOBAL OBJECTIVES AND LOCAL OBJECTIONS: A RETROSPECTIVE EVALUATION

Alessandro Caramis

segue **riflettore su**

58

LE DETRAZIONI FISCALI DEL 55% NEL 2008 PER LA RIQUALIFICAZIONE ENERGETICA DEL PATRIMONIO EDILIZIO

55% TAX DEDUCTIONS FOR THE ENERGY REQUALIFICATION OF EXISTING BUILDINGS IN 2008

Mario Nocera, Simone Rosciarelli

70

TRASFERIMENTO TECNOLOGICO E COMPETITIVITÀ NEL SISTEMA AGRO-ALIMENTARE: L'ESPERIENZA DELL'ENEA

TECHNOLOGY TRANSFER AND COMPETITIVENESS IN THE AGRO-FOOD SECTOR: THE ENEA EXPERIENCE

Gaetano Coletta, Lorenza Daroda, Daniela Palma, Ombretta Presenti

studi & ricerche

84

ADSORBIMENTO DI COLORANTI INDUSTRIALI SU CHITOSANO

DYESTUFFS ADSORPTION ON CHITOSAN

Loris Pietrelli

cronache

92

DAL MONDO, DALL'ITALIA, DALL'ENEA, EVENTI

dal Mondo

- CO₂ che produce molecole energetiche **92**
- Studio AIE sul consumo energetico dei dispositivi elettronici domestici **92**

dall'Italia

- Energia solare per le isole minori italiane: concorso di idee lanciato da Marevivo **93**
- Produzione più economica dei biocarburanti **93**
- Padova: il fotovoltaico va a scuola **94**
- In costruzione ad Arezzo il primo idrogenodotto urbano **94**

dall'ENEA

- Progetto pilota in scuole medie di La Spezia per valorizzare le discipline scientifiche **95**

Eventi

- Visita in Italia della delegazione del GAO **95**
- TERRA FUTURA, mostra convegno delle buone pratiche di sostenibilità **96**
- Le opportunità della ricerca industriale italiana nel settore dell'energia **96**

Bimestrale dell'ENEA
Anno 56, maggio-giugno 2010

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

Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo Aronica, Paola Batistoni, Vincenzo Di Majo,
Stefano Giammartini, Massimo Maffucci, Emilio Santoro

Responsabile editoriale

Diana Savelli

Coordinamento redazionale

Paola Molinas

ENEA – Lungotevere Thaon di Revel, 76 – 00196 Roma
Tel. 06-36272907 – e-mail: paola.molinas@enea.it

Collaboratori

Giuliano Ghisu

Promozione

Paola Crocianielli

Traduzioni

Carla Costigliola

Progetto grafico

Bruno Giovannetti



Lo staff della rivista

Da sinistra: Stefano Giammartini, Paola Molinas, Osvaldo Aronica, Paola Crocianielli, Massimo Maffucci, Giuliano Ghisu, Vincenzo Di Majo, Diana Savelli, Flavio Giovanni Conti, Paola Batistoni, Emilio Santoro, Bruno Giovannetti (foto di Roberta Francescone)

In copertina

Macchina sperimentale Tokamak (foto di Riccardo de Angelis, ENEA)

Stampa

Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)

Registrazione

Tribunale Civile di Roma - Numero 148 del 19 aprile 2010 del Registro Stampa

Pubblicità

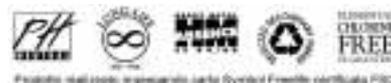
Fabiano Group srl - Regione San Giovanni, 40 - 14053 Canelli (AT)
Tel. 0141 827802 - Fax 0141 827830 - e-mail: info@fabianogroup.com

Abbonamento annuale

Italia € 21,00 + € 8,00 (spese di spedizione), Estero € 21,00 + € 15,00 (spese di spedizione);
una copia € 4,20 - C.C.P. n. 12439121 intestato a Fabiano Group srl
Tel. 0141 8278234 - Fax 0141 8278300 - e-mail: ordini@fabianogroup.com

Finito di stampare nel mese di giugno 2010

www.enea.it



Prodotto negli stabilimenti integrativi carta Syntec Freefile certificata FSC



Stefania Baccaro
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali

pag. 6



Antonio Mattucci
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

pag. 33



Fabrizio Bianco
Ansaldo Nucleare SpA

pag. 22



Mario Nocera
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

pag. 58



Alessandro Caramis
Università di Roma "La Sapienza", Facoltà di Scienze della Comunicazione, Osservatorio di Comunicazione Ambientale "CAMBIO"

pag. 50



Daniela Palma
ENEA, Unità Tecnica Trasferimento Tecnologico

pag. 70



Gaetano Coletta
ENEA, Unità Tecnica Trasferimento Tecnologico

pag. 70



Loris Pietrelli
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

pag. 84



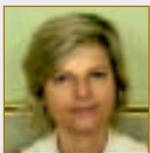
Paolo D'Atanasio
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali

pag. 6



Ombretta Presenti
ENEA, Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agro-Industriale

pag. 70



Lorenza Daroda
ENEA, Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agro-Industriale

pag. 70



Marina Ronchetti
ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico

pag. 33



Francesco Di Mario
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

pag. 33



Simone Rosciarelli
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

pag. 58



Federico Fortunato
Ansaldo Nucleare SpA

pag. 28

La qualificazione di componenti e sistemi per la sicurezza nucleare: competenze e strutture ENEA

Stefania Baccaro
Paolo D'Atanasio

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie dei Materiali

Nella produzione di energia da fonte nucleare, quello della sicurezza degli impianti è uno degli aspetti più delicati. In questo ambito, un ruolo centrale è svolto dal processo di qualificazione dei componenti, degli apparati e dei sistemi di sicurezza, nel quale l'ENEA vanta competenze e strutture che possono essere utilizzate per le prove sperimentali alle quali questi devono essere sottoposti per poterne certificare la piena funzionalità

Component and System Qualification for Nuclear Safety: ENEA Expertise and Facilities

One of the most delicate aspects of nuclear energy production is plant safety, where a key role is played by the qualification of components, equipment and safety systems. ENEA's expertise and facilities enable to perform the necessary experimental tests in order to obtain their operative certification

Ogni attività umana di trasformazione di materie prime, energia o anche beni immateriali presenta sempre un duplice aspetto: accanto agli indubbi benefici e vantaggi sono possibili, talvolta inevitabilmente, effetti negativi ed indesiderati sull'ambiente, sulla salute dei lavoratori o della popolazione civile. Vero è che, in generale, le norme tecniche, i regolamenti e, in ultima analisi, le leggi tendono nell'assoluta maggioranza dei casi a limitare questi effetti negativi ed a tutelare nel più elevato grado possibile la sicurezza e la salute delle persone. Tanto più è elevato il livello di pericolosità delle attività di produzione industriale, tanto maggiori sono la severità del legislatore nell'imporre criteri e regolamenti di sicurezza e l'attenzione della pubblica opinione sull'effettiva sorveglianza da parte degli organi di controllo.

La produzione di energia elettrica, quale che sia il metodo con cui essa viene prodotta, rientra nelle categorie di attività per le quali occorre concentrare la massima attenzione ai criteri di sicurezza di costruzione e gestione degli impianti al fine di prevenire effetti negativi sull'ambiente e sulla popolazione. La produzione di energia elettrica da fonti nucleari richiede livelli di precauzione e severità ancora maggiori, poiché il processo fisico di fissione nucleare a catena è, per sua intrinseca natura, estremamente delicato per due motivi essenziali: la probabilità che la reazione a catena giunga ad uno stadio divergente ed incontrollabile, almeno nei reattori non subcritici quali sono i reattori attualmente realizzabili (ovvero di terza generazione o di terza generazione avanzata), può essere resa estremamente piccola ma mai rigorosamente nulla; la reazione di fissione nucleare avviene a partire da elementi instabili e radioattivi, i cui prodotti di decadimento sono tutti a loro volta instabili e radioattivi, ragione che impone l'assoluta necessità di progettare i reattori in modo

che questi elementi non possano mai essere dispersi nell'ambiente.

Il problema della sicurezza degli impianti nucleari è stato sollevato, sin dagli inizi della produzione di energia da fonti nucleari per usi pacifici, come uno degli aspetti più delicati e sul quale è necessario concentrare il massimo degli sforzi e dell'attenzione^[1]. Nel 1989, l'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA) adottò, su proposta italiana e francese, il principio dell'approccio *deterministico*, invece che *probabilistico*, nella gestione degli aspetti di sicurezza delle centrali elettronucleari^[2].

I principi e gli obiettivi della sicurezza nucleare sono enunciati, nella forma più generale, dalla *Convenzione sulla Sicurezza Nucleare*^[3], che è stata recepita dall'Italia con la Legge 19 gennaio 1998 n. 10. Numerosi altri documenti internazionali specificano più dettagliatamente tutte le implicazioni attuative contenute in quei principi, che riguardano tutte le fasi dell'intera vita di una centrale elettronucleare: dalla progettazione, alla realizzazione, alla gestione operativa fino allo smantellamento.

Tra le molte prescrizioni imposte ai progettisti delle centrali elettronucleari e ai fornitori, un ruolo centrale è rivestito dal processo di *qualificazione* dei componenti, degli apparati e dei sistemi essenziali per la sicurezza.

In questo articolo verrà brevemente discusso il concetto di *qualificazione nucleare* e verranno presentate le competenze e le strutture in dotazione all'ENEA che possono essere utilizzate per le prove sperimentali alle quali i componenti ed i sistemi di sicurezza devono essere sottoposti per poterne certificare la piena funzionalità in ogni circostanza.

La qualificazione in ambito nucleare

La progettazione, la realizzazione e l'esercizio delle centrali elettriche nucleari pongono rilevanti pro-

blemi di sicurezza e affidabilità, rigidamente classificati e regolamentati a livello nazionale e internazionale. Come stabilito dall'Agenzia Internazionale per l'Energia Atomica (IAEA), l'obiettivo generale della sicurezza nucleare è quello di "(...) *proteggere le persone, la società e l'ambiente predisponendo e mantenendo nelle installazioni nucleari sistemi efficienti di protezione contro i rischi radiologici (...)*"^[4].

In altri termini, la sicurezza nucleare prevede che l'esposizione alle radiazioni radioattive del personale professionalmente esposto e della popolazione sia mantenuta ai più bassi livelli possibili e sia completamente evitato il rilascio indesiderato di materiale radioattivo, riducendo al minimo la probabilità di un incidente nucleare.

Questo approccio conduce alla strategia della "difesa in profondità"^[5], il cui scopo è duplice: in primo luogo, evitare gli incidenti e in secondo luogo, se la prevenzione dovesse fallire, limitare le conseguenze e prevenire ogni evoluzione verso condizioni più serie. La prevenzione degli incidenti è, in ogni caso, la prima priorità.

Perché siano assicurate "funzioni fondamentali di sicurezza" (controllo del processo di fissione nu-

cleara, rimozione del calore dal nocciolo del reattore, confinamento della radioattività), la difesa in profondità è organizzata su cinque livelli gerarchici di apparati e sistemi, ognuno dei quali interviene in caso di fallimento del precedente, con lo scopo di mantenere la piena funzionalità ed affidabilità delle barriere fisiche interposte fra il materiale radioattivo e l'ambiente circostante durante le normali operazioni, in caso di anomalie o di incidente. Posto che un incidente sia accaduto, il "livello 3" prevede che siano state progettate delle configurazioni ingegneristiche di sicurezza e protezione atte a prevenire l'evoluzione dell'incidente verso il livello di incidente grave e a confinare i materiali radioattivi dentro il sistema di contenimento. I sistemi di sicurezza devono, dunque, mantenere il controllo della reattività, rimuovere il calore residuo e contenere rilasci radioattivi durante le fasi di pilotaggio e di conseguente mantenimento del reattore verso uno stato sicuro.

L'affidabilità dei sistemi di sicurezza viene garantita progettando l'impianto secondo diversi principi (ridondanza dei sistemi di sicurezza; prevenzione dei modi comuni di guasto dovuti a rischi interni ed esterni o a difetti di progettazione, costruzione e

Tabella 1 – Sequenza tipica delle "prove di tipo" previste per la qualificazione nucleare

| Prove | Impianti e laboratori coinvolti |
|---|--|
| 1. Acquisizione dati di base | Strumentazione di misura |
| 2. Prove funzionali durante l'invecchiamento da agenti fisici | |
| • Temperatura | Forni termostatici |
| • Umidità | Camere climatiche |
| • Cicli di temperatura/umidità | |
| • Vibrazioni | Shaker elettrodinamici |
| • Irraggiamento | Impianto di irraggiamento γ |
| • Irraggiamento incidentale | Acceleratore β |
| • Compatibilità elettromagnetica | Camera semianecoica EMC/EMI |
| • Suscettibilità elettromagnetica condotta e radiata | Strumentazione di misura |
| 3. Prove funzionali durante le fasi incidentali | |
| • Sisma | Tavole vibranti |
| • Caduta d'aereo | Macchina da shock |
| • Incidente base di progetto | Impianto per prove LOCA |

Fonte: ENEA

manutenzione; automazione dei sistemi per la prevenzione di errori umani; possibilità di eseguire controlli di funzionalità) tra i quali l'adozione della qualificazione dei sistemi, dei componenti e delle strutture per le specifiche condizioni ambientali di esercizio o dovute ad un incidente o ad un rischio esterno. Il processo di qualificazione nucleare è quindi uno dei principi cardine di progettazione e realizzazione delle centrali nucleari e consiste nel sottoporre tutti i sistemi, i componenti e le strutture rilevanti, ai fini della sicurezza nucleare, ad un complesso sistema di prove sperimentali, alle specifiche condizioni ambientali di esercizio o dovute ad un incidente o ad un rischio esterno, per verificare che essi continuino a svolgere le funzioni per le quali sono stati progettati con la massima affidabilità, consentendo di mantenere sotto controllo il reattore in qualunque situazione. Il processo è regolato da norme nazionali ed internazionali^{[6]-[8]} che prevedono, essenzialmente, quattro metodi generali:

1. prove di tipo;
2. esperienza operativa;
3. analisi;
4. qualificazione combinata.

Il metodo con il minor margine di incertezza e che, per questo, è quello adottato nella grande maggioranza dei casi è il ricorso alle "prove di tipo" (cfr.^[9], paragrafo 3.96). Questo implica la necessità di condurre attività sperimentali di misura e prove in laboratori adeguati.

Una tipica sequenza delle prove di tipo previste per la qualificazione nucleare è riportata nella *tabella 1*.

Competenze e strutture ENEA

Al di là delle riconosciute qualità tecnologiche, l'effettiva capacità del sistema industriale nazionale di competere nel panorama europeo ed internazionale e di contribuire in misura rilevante al complesso di forniture di componenti, dispositivi e sistemi di una centrale elettrica nucleare dipende dalle opportunità che vengono loro offerte di qualificare i propri prodotti secondo le normative vigenti.

Presso il Centro Ricerche ENEA della Casaccia (Roma) è concentrato in un unico sito un complesso di importanti laboratori e infrastrutture sperimentali di prova in cui è possibile condurre l'intero processo di qualificazione nucleare di componenti, dispositivi e sistemi inerenti la sicurezza nucleare, effettuando le prove riportate nella tabella: il Laboratorio di Prove Dinamiche ed Ambientali, il Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica, l'Impianto di Irraggiamento Gamma Calliope.

La possibilità di poter eseguire tutte le prove di qualificazione previste dalle norme di sicurezza nucleare nello stesso sito costituisce quindi un'interessante opportunità per le industrie italiane. Il mantenimento ed il costante aggiornamento e approfondimento delle competenze e delle sensibilità ereditate dalla sua storia pregressa come Comitato Nazionale per la Ricerca e lo Sviluppo dell'Energia Nucleare (CNEN) consentono inoltre all'ENEA di mettere a disposizione dell'industria nazionale tutto il suo patrimonio di professionalità e conoscenze, di avanzati e complessi laboratori ed infrastrutture sperimentali localizzati nei diversi Centri di Ricerca, per attività di studi, misure e prove multidisciplinari, a supporto del processo di qualificazione nucleare. Una panoramica (peraltro non esaustiva) di tali competenze e infrastrutture è disponibile sul sito web ENEA all'indirizzo:

http://www.enea.it/produzione_scientifica/pdf_dossier/D21-Sistemi-Nucleare

Nel seguito vengono descritti i laboratori e gli impianti ENEA in cui è possibile eseguire misure e prove di qualifica nucleare. Per ciascuno di essi sono presentati le caratteristiche principali, i possibili utilizzi, i potenziali utenti e alcuni esempi di applicazioni e risultati conseguiti.

Ai laboratori e impianti ENEA si affiancano gli impianti sperimentali di grande taglia della SIET (società per azioni partecipata da ENEA, ENEL, Ansaldo, Politecnico di Milano e Tectubi-Raccordi), in grado di simulare il comportamento termo-fluidodinamico di componenti e sistemi di reattori ad

acqua leggera (*Light Water Reactor*, LWR) e di eseguire prove per la sicurezza degli impianti nucleari di potenza in condizioni operative reali. Questi impianti sono descritti nell'articolo *LWR avanzati: la sperimentazione condotta dalla SIET*, di Gustavo Cattadori, Alfredo Luce e Stefano Monti, pubblicato sul fascicolo 6-2009 di questo periodico.

Impianto di irraggiamento γ Calliope

L'impianto di irraggiamento γ Calliope^{[10],[11]} fu realizzato nel Centro Ricerche della Casaccia nel 1967-1968 per ricerche ed esperimenti pilota sul trattamento di prodotti agricoli con radiazioni ionizzanti. Negli anni 80 l'impianto è stato utilizzato per ricerche sugli effetti delle radiazioni ionizzanti su materiali industriali (polimeri e fibre ottiche) e su sistemi destinati all'impiego in ambienti ostili per la presenza di radiazioni ionizzanti (impianti nucleari, spazio, impianti per la Fisica delle Alte Energie).

Calliope è un impianto di irraggiamento di tipo "a piscina" dotato di una sorgente di radiazioni gamma di ^{60}Co localizzata in una cella schermata di grandi dimensioni ($7 \times 6 \times 3,9 \text{ m}^3$). Attualmente, la sorgente ha una geometria cilindrica con 48 barre di ^{60}Co , ciascuna contenuta in una doppia camicia di acciaio inossidabile, disposte in due cilindri concentrici con raggio esterno di circa 20 cm ed altezza di 26 cm. La configurazione delle sorgenti gamma può, in ogni caso, essere modificata, disponendole su due file di una rastrelliera piana per consentire l'irraggiamento di oggetti di grandi dimensioni. La protezione biologica della cella di irraggiamento è stata ottenuta realizzando le pareti della cella in cemento baritico con uno spessore fino a 1,8 m.

All'interno della cella di irraggiamento vengono misurate e registrate l'umidità relativa dell'aria, la temperatura e la quantità di ozono; la registrazione di questi dati consente, in caso di discesa improvvisa delle sorgenti durante una sessione di irraggiamento, di determinare con precisione il mo-

mento dell'evento e di calcolare, quindi, la dose assorbita dall'inizio dell'irraggiamento fino all'interruzione.

La radiazione da ^{60}Co consiste di due fotoni γ da 1,173 e 1,332 MeV, emessi in coincidenza con un'energia fotonica media di 1,25 MeV. La licenza di esercizio dell'impianto Calliope prevede un'attività massima della sorgente di $3,7 \times 10^{15} \text{ Bq}$ (100 kCi); l'attività attuale delle sorgenti di ^{60}Co installate è di $0,34 \times 10^{15} \text{ Bq}$ (9,2 kCi).

Le tecniche dosimetriche utilizzate nell'impianto Calliope sono la dosimetria assoluta di Fricke (20-400 Gy), dosimetria ad alanina (1 Gy-500 kGy) e dosimetria RedPerspex (5-40 kGy).

L'impianto è dotato di una piattaforma per posizionamento campioni, corredata di opportuni righeggi che consentono un preciso posizionamento dei dosimetri e dei materiali da irraggiare; a completamento di tale lavoro è stata sviluppata con il CERN di Ginevra una simulazione con il metodo Monte Carlo che ha permesso di ottenere le curve isodose in 3D all'interno della cella di irraggiamento, simulazione validata dalle misure di dosimetria effettuate presso i laboratori annessi all'impianto, altamente specializzati per la determinazione degli effetti pre- e post-irraggiamento mediante caratterizzazione delle proprietà chimico-fisiche dei materiali, componenti o sistemi per applicazioni in ambiente ostile.

Le applicazioni principali dell'impianto Calliope, utilizzato per attività di ricerca e di servizio, riguardano:

- lo studio degli effetti dell'irraggiamento γ sulle proprietà chimico-fisiche dei materiali (polimeri, fibre ottiche, cristalli e amorfi)^{[11]-[21]};
- esperienze in campo biologico finalizzate alla messa a punto di processi di risanamento nel settore agroalimentare, ambientale e recupero di beni culturali;
- l'irraggiamento di componenti dell'industria aerospaziale, nucleare ed elettronica in condizioni che riproducono l'ambiente radioattivo ostile nel quale questi dispositivi si troveranno ad operare.

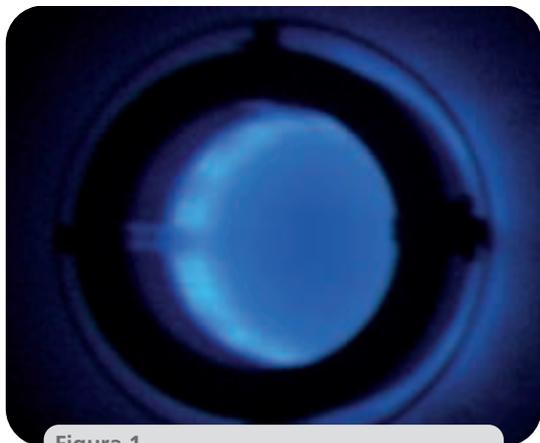


Figura 1
Rastrelliera dell'impianto Calliope con sorgenti di ^{60}Co e visione dell'effetto Cherenkov
Fonte: ENEA

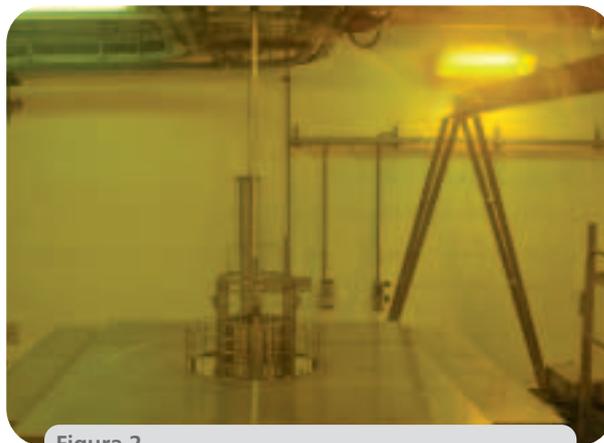


Figura 2
Vista della cella di irraggiamento e della rastrelliera contenente le sorgenti di ^{60}Co ; in primo piano la piattaforma per il posizionamento dei campioni
Fonte: ENEA

L'impianto è stato impiegato, tra l'altro, per:

- qualifiche di componenti elettronici per applicazioni spaziali secondo normativa ESA 22900 e MIL-STD-883;
- progetti dell'Unione Europea JET e NET;
- collaborazioni scientifiche e qualifiche di componenti e sistemi per esperimenti CMS, ATLAS ed LHCb presso LHC al CERN di Ginevra (2001-2007);
- coordinamento della collaborazione internazionale per l'ottimizzazione del cristallo di tungstato di piombo scelto per il calorimetro elettromagnetico dell'esperimento CMS presso LHC del CERN di Ginevra, così come *testing*, assemblaggio e realizzazione dei moduli del calorimetro (70.000 cristalli processati con irraggiamento a campionamento) (1997-2008);
- la qualifica dello statore per Ansaldo Impianti (1982);
- qualifiche di componentistica elettrica di potenza anche di grandi dimensioni per Nuova Pignone (1981-1986);
- qualifiche di rivestimenti ottici, ottenuti mediante PVD, per applicazione in ambiente ostile quale telescopi spaziali (2004);
- collaborazioni con East China University of Scien-

ce and Technology of Shanghai (ECUST) per la produzione e sviluppo di *chalcogenide glasses* per diverse applicazioni;

- collaborazioni con il Dipartimento di Fisica dell'Accademia delle Scienze di Praga e il Dipartimento di Scienza dei Materiali dell'Università la Bicocca (Milano) su scintillatori di ZnO, LuYAG e LuScAG:Ce3+, per la caratterizzazione delle proprietà di scintillazione, resistenza a radiazione e messa a punto della composizione con ottimizzazione del drogaggio (1999-2007);
- qualifiche ad irraggiamento per matrici cementizie inglobanti rifiuti radioattivi per Nucleco SpA;
- attività di formazione presso altre istituzioni e stage per studenti universitari e ricercatori provenienti da numerosi paesi.

I principali utenti dell'impianto Calliope e dei suoi laboratori sono università, enti di ricerca ed industrie, nazionali ed esteri.

Laboratorio di compatibilità elettromagnetica^{[10],[22]}

Il Laboratorio di Compatibilità Elettromagnetica del Centro di Ricerche ENEA della Casaccia nasce nel 1983 per il supporto alle qualifiche di compatibilità elettromagnetica su componenti elettro-

Tabella 2 – Caratteristiche tecniche della camera semi-anecoica Vecuvia dell'ENEA

| Descrizione | Caratteristiche tecniche |
|---|---|
| Dimensioni esterne della camera | (9,00 x 6,00 x 5,60) m ³ |
| Efficienza di schermatura | > 80 dB (10 kHz – 100 kHz) > 100 dB (100 kHz – 18 GHz) |
| Attenuazione di sito normalizzata (NSA): | ± 4 dB (in conformità alla norma ANSI C 63,4) |
| Rivestimento interno | Mattonelle in ferrite TDK IB-011 di dimensioni (10 x 10 x 0,65) cm ³ |
| Coni assorbitori | TDK IP-045C |
| Intervallo di frequenza | 30 MHz – 18 GHz |
| Tavola rotante Heinrich Deisel DS420S | Diametro: 2 m Portata max: 1.000 kg Risoluzione angolare: ± 1° |
| Supporto antenne Heinrich Deisel MA240 | Elevazione: 1m–4m Polarizzazione: orizzontale e verticale Portata: 10 kg |
| Controllo remoto tavola e supporto antenne Heinrich Deisel HD 100 | Connessione a fibra ottica Interfaccia IEEE 488 |

Fonte: ENEA

meccanici ed elettronici per impianti nucleari o impianti industriali siti in aree critiche.

Dal 2000, il laboratorio si è dotato della camera schermata semi-anecoica Vecuvia per misure di compatibilità elettromagnetica secondo le normative civili e militari su componenti, apparati e sistemi posti ad una distanza di 3 metri dalla sorgente di radiazione, nella gamma di frequenze

comprese fra 10 kHz e 18 GHz. Le caratteristiche tecniche della camera semi-anecoica Vecuvia sono riportate nella *tabella 2*.

Vecuvia viene impiegata per prove di emissione ed immunità radiate e condotte; due ulteriori camere schermate fino ad 1 GHz vengono utilizzate per l'esecuzione di prove di immunità ed emissioni condotte.

Tabella 3 – Prove EMC/EMI attualmente eseguibili nel Laboratorio di Compatibilità elettromagnetica

| Descrizione delle prove | Norme di riferimento |
|---|--|
| Prove su apparati militari (con alcune limitazioni strumentali) | MIL STD 461 rev. C/D/E/F MIL STD 462 rev. C/D |
| Prove di emissione radiata e condotta | EN 55022 |
| Prove di immunità alla scarica elettrostatica ESD | EN 61000-4-2 |
| Prove di immunità radiata | EN 61000-4-3 |
| Prove di immunità ai transitori veloci (Burst) | EN 61000-4-4 |
| Prove di immunità condotta | EN 61000-4-6 |
| Prove di immunità radiata al campo magnetico a 50 Hz | EN 61000-4-8 |
| Prove su apparati per usi industriali, scientifici ed elettromedicali | EN 55011 |
| Prove su apparati avionici | RTCA/DO-160E |

Fonte: ENEA

Il laboratorio può effettuare misure e prove di compatibilità elettromagnetica (EMC/EMI) in conformità alle norme civili, militari ed avioniche secondo il quadro riportato nella *tabella 3*.

Le infrastrutture sperimentali del laboratorio vengono utilizzate anche per misure di caratterizzazione elettromagnetica di materiali (permittività dielettrica e permeabilità magnetica) e di antenne (diagrammi di radiazione e misure di *radar cross section*).

Tra le campagne di prove di maggior rilievo effettuate dal laboratorio si citano:

- prove su apparecchiature scientifiche installate a bordo dell'aereo Geophysica, utilizzato in cam-

- prove su vari apparati elettronici realizzati da aziende del gruppo Selex per le forze di sicurezza, la protezione civile e le forze armate.

Il laboratorio è stato inoltre coinvolto in iniziative di ricerca e studio sui campi elettromagnetici e in campagne di misura ambientali e su dispositivi particolari, fra cui:

- realizzazione di codici di calcolo per la simulazione dei fenomeni di propagazione ed interferenza elettromagnetiche^{[23]-[25]};
- progetto europeo CAPRI-ARTEMIS per lo sviluppo di codici paralleli di simulazione elettromagnetica;



Figura 3
Vista interna della camera semianecoica Vecuvia
Fonte: ENEA

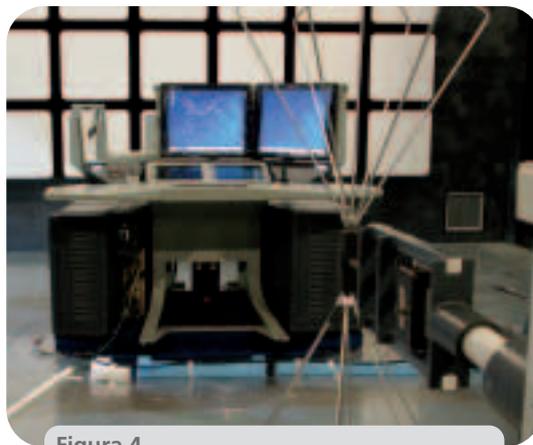


Figura 4
Vista della consolle di controllo installata a bordo della portaerei Cavour
Fonte: ENEA

pagne di misura stratosferiche sull'Antartide (Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza di Roma);

- prove su apparati elettronici di monitoraggio delle infrastrutture civili della linea ferroviaria ad alta velocità Roma-Napoli;
- prove su una *consolle* di controllo installata a bordo dell'incrociatore Garibaldi della Marina Militare Italiana;
- prove su una *consolle* di controllo installata a bordo della portaerei Cavour della Marina Militare Italiana;

- realizzazione del codice FDTD "Nemesis" di simulazione elettromagnetica;
- realizzazione di codici numerici di simulazione elettromagnetica nell'ambito del Progetto MIUR/CNR-ENEA *Salvaguardia dell'uomo e dell'ambiente dalle emissioni elettromagnetiche*^[26];
- in collaborazione con l'Istituto Superiore di Sanità, prove sulle prestazioni di dispositivi commerciali di abbattimento dei campi elettromagnetici generati da telefoni cellulari (cosiddetti "coccinelle");

- su mandato del Ministero dell'Ambiente, misure di rilevamento di campo elettromagnetico nei dintorni della stazione radio vaticana di Santa Maria di Galeria;
- su incarico del Ministero dell'Interno (Polizia di Stato), caratterizzazione elettromagnetica di un dispositivo commerciale per la difesa personale (storditore elettrico);
- su mandato dell'Amministrazione Comunale, misure di rilevamento di campo elettromagnetico in alcune zone del comune di Anguillara Sabazia (RM);
- nell'ambito dell'Accordo di Programma ENEA-Ministero dell'Ambiente, contributo alla stesura delle specifiche tecniche per la realizzazione del Catasto Elettromagnetico Nazionale e dei Catasti Elettromagnetici Regionali;
- prove di caratterizzazione elettromagnetica di dispositivi biomedicali;
- misure di caratterizzazione elettromagnetica di tessuti biologici.

I principali utenti del laboratorio comprendono industrie operanti nei settori dell'elettronica civile, militare, della pubblica sicurezza, avionica, biomedicale, grandi infrastrutture di trasporto; Enti ed

istituzioni pubbliche; Enti ed istituzioni di ricerca scientifica.

Laboratorio per qualifiche sismiche, vibrazionali, cadute ed urti, ambientali^{[10],[27]-[34]}

Qualifiche sismiche

Il laboratorio è dotato di due tavole vibranti a 6 gradi di libertà, tra le più grandi d'Europa, che consentono di effettuare prove sismiche triassiali per:

- qualifica sismica di sistemi e apparecchiature per impianti nucleari (norme IEEE STD 344-2004, IEC 60980-1989);
- qualificazione di componenti e sistemi per applicazioni industriali (normative MIL STD 167-1, AGERD A-0049), il trasporto ferroviario (normative F.S.-I.S.402), l'industria aerospaziale (normative DO-160C), l'ingegneria civile e la protezione del patrimonio artistico (normative OPCM-4274, OPCM-3431);
- caratterizzazione dinamica e verifica sperimentale dell'efficacia delle tecnologie innovative di protezione sismica di apparecchiature delicate



Figura 5
Test dinamico/funzionale su componentistica elettronica
Fonte: ENEA



Figura 6
Test dinamico/funzionali su sistema d'antenna radar
Fonte: ENEA

e sistemi di controllo di infrastrutture strategiche in fase post-sismica.

Le prove su tavola vibrante hanno una fondamentale importanza ai fini della comprensione del comportamento dinamico delle strutture reali sotto l'azione dei carichi sismici, consentendo anche la validazione dei modelli numerici poiché forniscono i valori degli smorzamenti, delle frequenze critiche e dei principali modi di vibrare della struttura.

Le due tavole vibranti in dotazione del laboratorio consentono lo studio e la sperimentazione di nuove tecnologie e nuovi materiali per la protezione sismica di manufatti civili, industriali e storico-monumentali.

Ha, come principali utenti, le PMI nazionali ed europee nei settori delle costruzioni e dell'industria meccanica e ferroviaria, istituzioni universitarie, il Dipartimento della Protezione Civile.

Qualifiche a vibrazioni

Gli impianti sperimentali consistono in shaker elettrodinamici che consentono la qualifica di componenti e sistemi rilevanti per la sicurezza, a fronte delle sollecitazioni vibratorie previste durante l'esercizio in condizioni normali ed anormali.

Un'apparecchiatura rilevante per la sicurezza de-

ve essere qualificata a fronte delle sollecitazioni vibratorie previste durante l'esercizio in condizioni normali ed anormali. Vibrazioni tipiche di quest'ultima classe sono quelle autoindotte nelle parti di impianto su cui l'apparecchiatura da qualificare deve essere installata e trasmessa all'apparecchiatura stessa tramite le strutture di supporto. Per esempio, se l'apparecchiatura è montata su tubazioni, generatori o motori, le vibrazioni da tenere in considerazione sono quelle prodotte dall'avviamento e dal funzionamento a regime delle macchine, dalla circolazione del fluido nei tubi, dalle vibrazioni di apparecchiature vicine a quelle da qualificare e dalle stesse parti costituenti di quest'ultima.

Tra le attività di maggior rilievo condotte sugli impianti si citano le qualifiche a vibrazioni per:

- il microsatellite ALMASat QM-1 (specifiche ECSS-E-10-02A ed ECSS-E-10-03A);
- sistemi aeronautici FA ed HLA (specifiche M346 *Thermal insulating for ECS pipes/ducts and cockpit*);
- lo Spettrometro Alpha Magnetic (AMS) per la stazione spaziale ISS (specifiche AMS-INFN in accordo con DO-160C).

Principali utenti sono l'industria meccanica, aerospaziale, dei trasporti e nucleare.



Figura 7
Microsatellite ALMASat QM-1
Fonte: ENEA

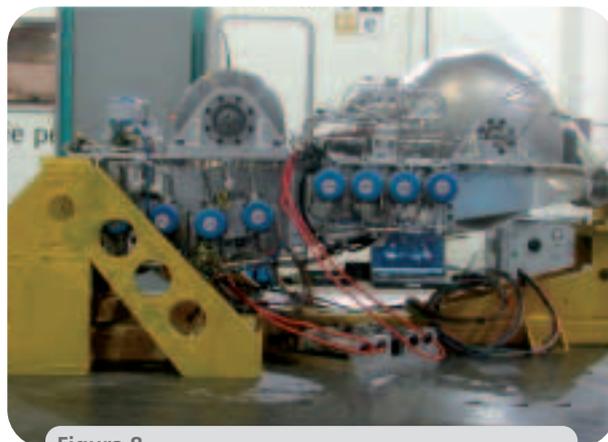


Figura 8
Spettrometro Alpha Magnetic (AMS)
Fonte: ENEA

Prove di caduta ed urti

Presso il laboratorio possono essere effettuate prove di caduta ed urti per la qualifica di componenti e sistemi per applicazioni industriali (normative MIL STD 167-1), nucleari (normative ANSI N14.5), il trasporto ferroviario (normative F.S.-I.S.402) e l'industria aerospaziale (normative DO-160C, ECSS-E-10).

L'evento "caduta di aereo", insieme con l'evento sismico e la rottura del circuito di raffreddamento del reattore (*Loss of Coolant Accident, LOCA*), rientra tra gli incidenti base (*Design Base Accident, DBA*) postulati in fase di progetto. La prova con la macchina da *shock* in dotazione al laboratorio riproduce una delle condizioni incidentali previste nelle prove di tipo per la qualifica nucleare, per verificare che le configurazioni ingegneristiche di sicurezza e protezione adottate siano idonee a prevenire l'evoluzione verso il livello di incidente grave. Tra le attività maggiormente significative del laboratorio si citano le prove di tenuta su contenitore di trasporto per soluzioni di plutonio, secondo la normativa di riferimento ANSI N14.5-97 (American National Standard for Radioactive Material – *Leakage Test on Packages for Shipment*).

I principali utenti del laboratorio sono l'industria elettronica, meccanica, aerospaziale, dei trasporti, nucleare.



Figura 9
Test di caduta da 70 cm
Fonte: ENEA

Qualifiche climatiche

Il laboratorio può effettuare la qualifica climatica di componenti e sistemi nucleari mediante camere climatiche, camere a nebbia salina, stufe termostatiche e camere climatiche per prove combinate di invecchiamento termico e sollecitazioni meccaniche.



Figura 10
Camere climatiche e camere a nebbia salina per qualifica ambientale di componenti e sistemi nucleari
Fonte: ENEA

La qualifica climatica consiste nel sottoporre i componenti e sistemi in esame ad un processo accelerato di invecchiamento termico per simulare in un breve periodo di tempo un funzionamento di lunga durata. Le sollecitazioni imposte sono definibili con leggi di degradazione fisica o chimica mediante parametri misurabili, al fine di ottenere proprietà fisiche e chimiche simili a quelle determinate da un lungo periodo di utilizzo nelle condizioni di funzionamento di esercizio.

Tra le più significative attività svolte dal laboratorio si citano:

- la qualifica ad urti, caduta e invecchiamento termico di contenitori di trasporto per soluzioni di plutonio (normative di riferimento: ANSI N14.5-1997, MIL STD 167-1, Nucleco IMIL-ILC 200.40.01. S 043, Nucleco IMIL-ILC

20.01.02.10 Q 004 REV. 1, UNI ISO 4628, UNI ISO 12944);

- prove RHEINMETALL (normativa di riferimento: MIL-STD 810 G).

Principali utenti sono l'industria elettronica, meccanica, aerospaziale, dei trasporti, nucleare.

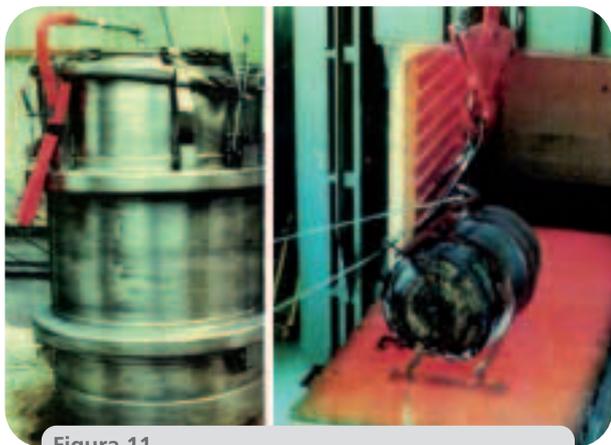


Figura 11

Contenitore di trasporto per soluzioni di plutonio dopo la prova di caduta da 9 m e invecchiamento termico a 800 °C per 30 minuti

Fonte: ENEA

Impianto vapore per prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi^{[10],[35]-[39]}

L'impianto Vapore è stato progettato per effettuare prove termomeccaniche e fluidodinamiche su componenti e sistemi di impianti nucleari e convenzionali. Può rappresentare, pertanto, un importante supporto per le industrie del settore dell'impiantistica e della componentistica meccanica e strutturale di processo, essendo l'accesso alle opportunità di mercato, presentate dal rilancio dell'opzione nucleare in Italia, subordinato all'offerta di componenti e sistemi, anche innovativi, da qualificare in condizioni operative reali secondo regime di GQ.

I suoi potenziali utenti sono industrie del settore dell'impiantistica e della componentistica meccanica e strutturale di processo.

L'impianto, progettato da ENEA, è stato completato nel 1986 e potenziato nel 1992. È costituito da un pressurizzatore per impianti nucleari che funge da generatore di vapore e serbatoio di accumulo. Alimenta, con portate regolabili di vapore o acqua saturi, componenti e sistemi tipici dei circuiti primari e secondari di impianti nucleari e di impianti convenzionali, riproducendo le sollecitazioni di processo e le condizioni ambientali necessarie per la qualifica funzionale delle apparecchiature in prova.

L'elasticità d'esercizio è una caratteristica peculiare di Vapore: essa, grazie anche alla configurazione che presenta aspetti unici nel panorama degli impianti simili (come ad es. la piscina di scarico termicamente coibentata da 400 mc), consente di effettuare prove funzionali in una vasta gamma di tipologie e prestazioni.

Le prestazioni principali di Vapore sono:

- pressione di esercizio: regolabile fino a 18 MPa;
- temperatura di esercizio: da T ambiente a 357 °C;
- portata vapore saturo: regolabile fino a 300 kg/s;
- portata acqua saturo: regolabile fino a 600 kg/s.

L'impianto Vapore è stato impiegato, tra l'altro, per:

- l'attività di verifica sperimentale del sistema di scarico di reattore BWR General Electric;



Figura 12

Allestimento sull'impianto Vapore di 4 valvole di sfioro-sicurezza destinate alla centrale nucleare di Montalto di Castro. Anno 1987

Fonte: ENEA



Figura 13
 Prove del sistema automatico di depressurizzazione del reattore AP600 (Westinghouse). Vista d'insieme in una fase della campagna sperimentale
 Fonte: ENEA

- l'attività di qualifica in GQ, per conto di Westinghouse, del sistema completo di depressurizzazione automatica del reattore PWR AP600 e per la determinazione sperimentale delle sollecitazioni sulle strutture del *piping* e dell'edificio reattore.

Laboratorio ingegneria dei sistemi nucleari^[10]

Il laboratorio effettua studi di sicurezza, incluso la valutazione probabilistica del rischio (*probabilistic risk assessment* – PRA) fino al livello 3, e offre supporto alla qualificazione analitica e sperimentale di componenti e alla definizione delle condizioni operative per la qualificazione sperimentale di sistemi e processi produttivi.

Il laboratorio è dotato di competenze per analisi di affidabilità e per l'implementazione di modelli in piattaforme di codici sviluppati e validati in collaborazioni europee per lo studio dell'evoluzione incidentale di reattori ad acqua leggera (*Light*

- la qualificazione in Gestione della Qualità, per conto di Nuovo Pignone, della fornitura di valvole di sfioro-sicurezza destinate alla centrale nucleare di Montalto di Castro;

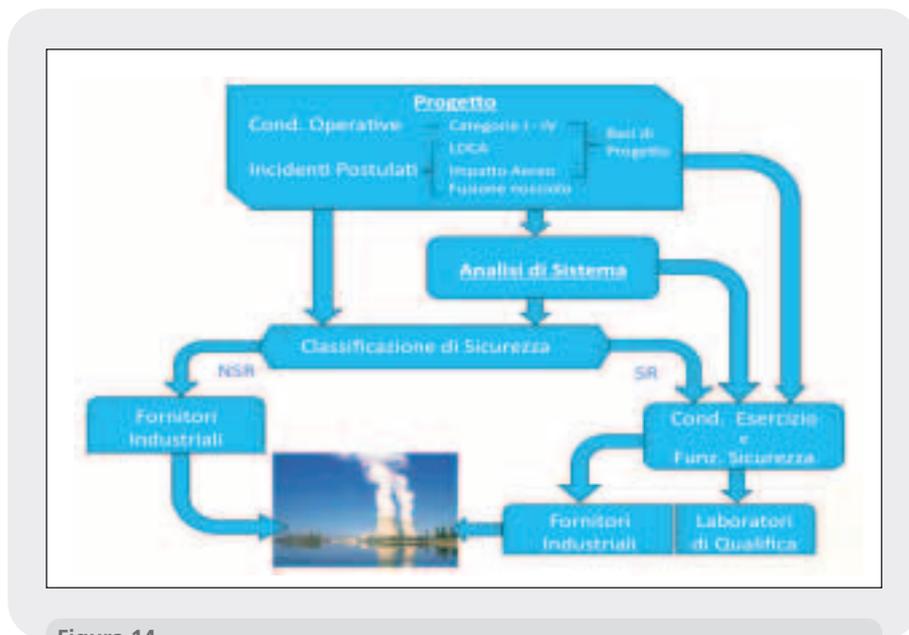


Figura 14
 Supporto alla qualificazione analitica e sperimentale di componenti e definizione delle condizioni operative per la qualificazione sperimentale di sistemi e processi produttivi
 Fonte: ENEA

Water Reactor, LWR) di terza generazione e di terza generazione avanzata. Dispone delle basi dati sugli impianti e sulla normativa per la classificazione sismica e di sicurezza e per la qualificazione nucleare. Effettua analisi di sistema finalizzate all'avviamento, all'esercizio, alla gestione degli eventi base di progetto (*Design Basis Accident*, DBA) e oltre (*Beyond Design Basis Accident*, BDBA).

Costituitosi alla fine degli anni 80 per attività sui reattori AP600 e SBWR (*Simplified Boiling Water Reactor*) nell'ambito della collaborazione di ENEA-ENEL-Ansaldo Nucleare con Westinghouse e General Electric, è stato impegnato in:

- accordo di programma MSE-ENEA linea programmatica 5: "Supporto all'Autorità istituzionale di sicurezza per gli iter Autorizzativi dei reattori di III generazione. Comparazione delle attuali opzioni scientifiche e tecnologiche";
- accordo ENEA-CIRTEN (Consorzio Interuniversitario per la ricerca tecnologica nucleare: Politecnici di Milano e Torino e Università di Roma, Palermo, Pisa, Bologna e Pavia);
- accordo di collaborazione ENEA-Commissariat à l'Energie Atomique;
- tutti i 12 gruppi di lavoro UNICEN finalizzati alla qualificazione nucleare delle imprese.

Ha tra i principali utenti enti ed istituti per studi sulla sicurezza, enti di ricerca, università, industrie del settore nucleare.

Conclusioni

La tecnologia della produzione nucleare di energia elettrica, per la sua complessità e per gli stretti vincoli di sicurezza, costituisce da sempre un potente volano per l'innovazione tecnologica che può senz'altro contribuire ad innalzare il livello di competitività dell'industria italiana anche in ambito internazionale. Tenendo conto anche di quest'ultimo aspetto, il programma di ripresa della produzione di energia elettrica di origine nucleare in Italia non può prescindere dalla costituzione di una rete di laboratori^[40] in grado di eseguire le prove di qualificazione nucleare richieste dalle norme di sicurezza, a supporto delle imprese che già operano nel settore nucleare o che, forti di avanzate competenze tecnologiche, vogliono iniziare ad operarvi.

In questo contesto, i laboratori dell'ENEA e delle sue partecipate possono ricoprire un ruolo importante o addirittura preminente, grazie alla dotazione di impianti sperimentali, alcuni dei quali unici in Italia e tra i pochi in Europa.

Bibliografia

- [1] E. Fermi, *The Future of Atomic Energy*, Rapporto tecnico MDDC-1, United States Atomic Energy Commission, Washington DC, USA, 1946.
- [2] V. Romanello, G. Lomonaco, E. Bomboni, N. Cerullo, *Note sulla Sicurezza Nucleare*, Rapporto tecnico NT 1146(2007), Università degli Studi di Pisa, Pisa, 2007.
- [3] IAEA, *Convention on Nuclear Safety*, 17 giugno 1994 – Disponibile nelle lingue ufficiali inglese, francese, cinese, russa, spagnola ed araba all'indirizzo: <http://www.iaea.org/Publications/Documents/Infcircs/Others/inf449.shtml>. La traduzione italiana è reperibile all'indirizzo: <http://www.minambiente.it/opencms/export/sites/>

default/archivio/normativa/Convenzione_sulla_sicurezza_nucleare.pdf

- [4] International Nuclear Safety Advisory Group, *Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants*, 75-INSAG-3 Rev. 1, INSAG-12, IAEA, Vienna, 1999.
- [5] International Nuclear Safety Advisory Group, *Defence in Depth in Nuclear Safety*, INSAG-10, IAEA, Vienna, 1996.
- [6] International Electrotechnical Commission, *Nuclear power plants – Electrical equipment of the safety system – Qualification*, Norma tecnica IEC 60780: 1998.

- [7] Institute of the Electric and Electronic Engineering, *IEEE Standard for Qualifying Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations*, Norma tecnica IEEE Std 323-2003.
- [8] Unione Normativa Italiana, *Centrali elettronucleari. Metodi di qualificazione di apparecchiature elettriche rilevanti per la sicurezza*, Norma tecnica UNI 8704, 1985 (attualmente sottoposta a revisione).
- [9] International Atomic Energy Agency, *Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants*, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.2, IAEA, Vienna, 2001.
- [10] S. Baccaro, P. D'Atanasio (a cura di), *Qualificazione di sistemi e componenti in ambito nucleare. Competenze e strutture ENEA*, Dossier ENEA, Roma, 2010. Disponibile all'indirizzo: http://www.enea.it/produzione_scientific/pdf_dossier/D21-Sistemi-Nucleare/D21-IndiceSistemiNucleare.html
- [11] S. Baccaro, A. Cecilia, A. Pasquali, *Irradiation Facility at ENEA-Casaccia Centre (Rome)*, Rapporto Tecnico ENEA, RT/2005/28/FIS (2005).
- [12] S. Baccaro, P. D'Atanasio, P. Anelli, A. Lombardi, *Radiation and thermal degradation on polymers materials*, Technical Documents Series, IAEA-TECDOC-551 (1990).
- [13] S. Baccaro, *Radiation-induced effects in ethylene-propylene copolymer with antioxidant*, in "Irradiation of Polymers" Eds. by R.L. Clough and S.W. Shalaby American Chemical Society Series 620, 323, 1996.
- [14] S. Baccaro, *Recent progress in the development of Lead Tungstate Crystals*, IEEE Transactions on Nuclear Science, 46, (3), 292 (1999).
- [15] S. Baccaro, et. al., *Radiation damage effect on avalanche photodiodes*, Nuclear Instruments and Methods, A426, 206-211 (1999).
- [16] S. Baccaro, A. Cecilia, A. Cemmi, G. Chen, E. Mihokova, M. Nikl, *Optical characterisation under irradiation of Ce³⁺ (Tb³⁺)-doped phosphate scintillating glasses*, IEEE Transactions on Nuclear Science, 48, (3), 360-366, 2001.
- [17] S. Baccaro, A. Cecilia, *Radiation effects on electronic components*, Rapporto Tecnico ENEA, RT/2002/25/FIS (2002).
- [18] S. Baccaro, A. Cecilia, F. Cataldo, A. Cemmi, F. Padella, A. Santini, *Interaction between reinforce carbon black and polymeric matrix for industrial applications*, Nuclear Instruments and Methods, B208, 191-194 (2003).
- [19] S. Baccaro, Guorong Chen, *An overview of recent developments in nanotechnology: particular aspects in nanostructured glasses*, in Proceedings "Emerging applications of radiation in nanotechnology" IAEA-TECDOC-1438 (2005).
- [20] S. Baccaro, A. Piegari, I. Di Sarcina, et al., *Effect of gamma irradiation on optical components*, IEEE Trans. Nucl. Science, 52 (5), 1779-1784, 2005.
- [21] M. Anelli, S. Baccaro, P. Campana, et al., *High radiation tests of the MWPCs for the LHCb Muon System*, Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A, 599 (2-3), 171-175, 2009.
- [22] P. D'Atanasio, A. Zambotti, *Il laboratorio di compatibilità elettromagnetica*, Fascicolo tecnico, ENEA, Roma, 2010. Disponibile all'indirizzo: http://www.enea.it/produzione_scientific/edizioni_tipolenea_attivita.html
- [23] P. Palazzari, S. Adda, P. D'Atanasio, "A Tool for the Simulation of Electromagnetic Field Dynamic in Complex Environments Through Massively Parallel Systems", 13th European Simulation Multiconference, Warsaw, Poland, June 1-4, 1999.
- [24] P. Palazzari, P. D'Atanasio, *Electromagnetic Simulations through the PQE1 Hybrid Parallel Architecture*, in L.T. Yang, M. Paprzycki, L. Tarricone (eds) "Practical Applications of Parallel Computing - 2002", Advances in Computation: Theory and Practice, Vol. 1212, Nova Science Publishers, New York, 2003, ISBN: 1-59033-532-5.
- [25] P. Bernardi, M. Cavagnaro, P. D'Atanasio, E. Di Palma, S. Pisa, E. Piuze, *FDTD, FDTD/Kirchhoff, Ray-tracing/FDTD: A Comparison on Their Applicability for Human Exposure Evaluation*, Int. J. Numer. Model., 15, 579-593 (2002).
- [26] P. D'Atanasio, *Caratterizzazione e modellistica dei campi elettromagnetici (EM) e delle sorgenti di campo*, Atti della Fondazione "Giorgio Ronchi", LIX, (12), 167-196 (2004).
- [27] G. De Canio, A. Valeri, *Analisi di affidabilità per l'Auxiliary Feedwater System, confronto dei risultati ottenuti con i codici di calcolo WAMCUT e SALP-MP*. Rapporto Tecnico ENEA TIB-84-1 (1984).
- [28] C.A. Clarotti, G. Casadei, G. De Canio, *Coupling Markov and Foutl tree techniques for calculating system reliability. Reliability data collection and use in Risk and Availability Assesment*, H.J. Wingender Editor, Springer Verlag, 1986.
- [29] G. De Canio, N. Ranieri, E. Renzi, *Shaking Table tests of a passive controlled tank mock-up*. 3rd World Conference on Structural Control, Como, Italy, 7-12 April 2002.
- [30] G. De Canio, N. Ranieri, E. Renzi, *Dynamical te-*

sts of a cylindrical tank mock-up. Structural Dynamics, EUROODYN2002, Grundmann & Schueller eds. 2002 Swets & Zeitlinger, Lisse, ISBN 90 5809 510 X.

- [31] V. Ciampi, M. Ciucci, M. De Angelis, R. Giannini, G. Ludovisi, F. Paolacci, G. De Canio, N. Ranieri, *Protezione sismica di serbatoi di impianti petrolchimici mediante isolamento alla base: indagini sperimentali*, 5th Conf. On Risk Assessment and Management in the Civil and Industrial Settlements, VGR 2006 17-19 ottobre 2006 Pisa.
- [32] G. De Canio, N. Ranieri, G. Fraraccio, A. Poggianti, *Shaking table tests of innovative energy dissipators and seismic isolators*, LESSLOSS Final Workshop – Risk Mitigation for Earthquakes and Landslides 2007 19-20 July, Belgirate (VB) – Italy.
- [33] M. Forni, A. Poggianti, G. De Canio, N. Ranieri, *Shaking table tests on innovative anti-seismic systems developed in the framework of the less-loss european integrated project*, 2008 ASME Pressure Vessel & Piping Conference July 27-31, 2008, Chicago, Illinois, USA.
- [34] G. De Canio, M. Baldini, A. Colucci, F. Di Biagio, G. Fabrizi, A. Picca, N. Ranieri, *ECAL_CMS project: anti vibration cage for transporting electromagnetic calorimeter modules from C.R. Casaccia (Rome) to CERN (Geneva)*, 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
- [35] P. Incalcaterra, C. Kropp, *Description of the automatic depressurization system test for the AP-600 reactor at the VAPORE facility*, 5th Conference on nuclear engineering (ICONE 5), May 26-30, Nice (France) (1997).
- [36] P. Incalcaterra, C. Kropp, *Description of the automatic depressurization system test for the AP-600 reactor at the VAPORE facility*, POST SMIRT 14th International Seminar, Pisa, August 25-27th (1997).
- [37] Sito WEB Westinghouse <http://www.ap600.westinghousenuclear.com/G3.asp> (Test Programs – ADS).
- [38] P. Incalcaterra, C. Kropp, *Automatic depressurization system and components tests for the AP600 Reactor at the Vapore facility*, Energia Nucleare, anno 13, n. 1 genn.-apr. (1996).
- [39] P. Incalcaterra, C. Kropp, A. Villani, G. Proto, *Blowdown tests on the Automatic Depressurization System of the AP600 Reactor*, Proceeding of Intern. Conf. on Design and Safety of Advanced Nuclear Power Plants. Tokyo Oct. 25-29 (1992).
- [40] AA.VV., *La qualificazione nucleare di componenti e sistemi. Proposta per una Rete Nazionale di Laboratori di prova*, Rapporto tecnico redatto per la Commissione Tecnica UNI Energia Nucleare (UNICEN), in attesa di pubblicazione come Rapporto tecnico UNI-ENEA, 2010.

Qualificazione nucleare per sistemi di sicurezza elettrici e di automazione e controllo in centrali nucleari di III-III+ generazione

Fabrizio Bianco

Ansaldo Nucleare SpA

I sistemi di sicurezza di una centrale nucleare devono essere qualificati in modo da garantire il mantenimento delle prestazioni in tutte le condizioni operative e per tutto il ciclo di vita dell'impianto. Per raggiungere questo obiettivo, gli attori coinvolti nella loro gestione devono realizzare programmi specifici di garanzia e controllo di qualità

Nuclear Qualification for Electrical Safety, and Automation & Control Systems in III-III+ Generation Nuclear Plants

A nuclear power plant must be equipped with qualified safety systems so that a constant performance is ensured under all operative conditions and for the whole plant lifetime. Such a target can be achieved if all the stakeholders involved in nuclear plants management adopt specific quality control and assurance programmes

I componenti ed i sistemi di sicurezza di una centrale nucleare devono essere realizzati in modo da mantenere le proprie prestazioni in tutte le condizioni operative, incluse quelle incidentali, e per tutta la vita dell'impianto. Per poter soddisfare questo fondamentale requisito, tutti gli "attori" coinvolti nella gestione di tali componenti o sistemi devono realizzare specifici programmi di Garanzia della Qualità e Controllo di Qualità atti a controllarne le fasi di:

- progettazione;
- produzione;
- qualificazione;
- trasporto;
- installazione;
- esercizio;
- manutenzione;
- prove periodiche di funzionamento.

Qualificazione nucleare

La qualifica nucleare è un processo di verifica a cui devono essere sottoposti tutti i componenti ed i sistemi che svolgono funzioni di sicurezza in una centrale nucleare.

ro richieste", ed in "tutte le condizioni di esercizio" previste in un impianto nucleare.

L'attività di qualificazione è regolata da norme nazionali ed internazionali (*tabella 1*) che prevedono la possibilità di utilizzare diversi metodi di valutazione:

- prove di tipo;
- analisi;
- esperienza di esercizio;
- combinazione dei metodi precedenti.

Nella qualificazione per "prove di tipo", le prestazioni di un (o più) prototipo del componente/sistema vengono provate, secondo una ben definita sequenza, nelle condizioni ambientali e di servizio previste nell'impianto.

Nella qualificazione per "analisi", mediante l'impiego di teorie e modelli analitici, le prestazioni del componente/sistema vengono valutate nelle condizioni ambientali e di servizio previste nell'impianto.

Nella qualificazione per "esperienza d'esercizio" le prestazioni del componente/sistema vengono confrontate sia con la documentazione che con i dati raccolti durante l'esercizio, in condizioni analoghe a quelle per cui è richiesta la qualifica.

Tabella 1 – Qualificazione nucleare: norme di riferimento

| Norma | Titolo |
|-----------|---|
| IEC 60780 | Nuclear Power Plants – Electrical equipment of the Safety System – Qualification |
| CEI 45-60 | Centrali elettronucleari – Apparecchiature elettriche del sistema di sicurezza – Qualificazione |
| IEEE 323 | IEEE standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations |

Fonte: elaborazione dell'autore

Per sistemi di sicurezza s'intendono tutti quei sistemi che devono sia garantire la sicurezza del reattore (spegnimento e rimozione del calore residuo), sia evitare significativi rilasci di materiale radioattivo all'ambiente esterno (isolamento del contenimento). Lo scopo di tale processo è quello di dimostrare la capacità di componenti e sistemi di svolgere le funzioni di sicurezza "tutte le volte che vengono lo-

Il metodo con il minor margine d'incertezza, e quindi preferito dalle norme, è quello delle "prove di tipo".

Prove di tipo

In questo metodo un (o più) prototipo, scelto secondo opportuni criteri, del componente/sistema

viene sottoposto ad un programma di qualificazione basato su di una sequenza di prove rappresentative di tutte le condizioni di servizio. La sequenza ed i requisiti delle singole prove sono studiati in modo da simulare delle condizioni d'esercizio ed ambientali conservative rispetto alle peggiori condizioni previste dal progetto. Il caso più critico è quello in cui l'evento base di progetto si verifici alla fine della vita dell'impianto.

Programma di qualificazione

Il programma di qualificazione è sviluppato sulla base delle indicazioni riportate nell'analisi di sicurezza dell'impianto. In particolare, da tale analisi sono recepiti:

- eventi base di progetto;
- funzioni di sicurezza;
- i sistemi/componenti da qualificare in quanto svolgono funzioni di sicurezza;
- condizioni ambientali, in ogni ambiente dell'impianto, presenti nei possibili scenari di servizio, normale, anormale, di evento base di progetto, di incidente severo e di post-evento.

In base a quanto sopra, le informazioni essenziali di un programma di qualificazione sono:

- identificazione dei componenti/sistemi che svolgono funzioni di sicurezza;
- le specifiche funzionali del componente/sistema sotto qualifica compresi i requisiti delle funzioni di sicurezza svolte;
- descrizione delle condizioni ambientali di servizio;
- piano delle prove;
- documentazione comprovante l'esecuzione ed i risultati della qualifica.

Piano delle prove

Nel processo di qualificazione per prove di tipo, la prima attività da eseguire è la preparazione del piano delle prove. Tale piano deve descrivere nel dettaglio le prove da eseguire e deve evidenziare la relazione tra le specifiche del componente/sistema ed i risultati delle prove. Le informazioni contenute riguardano:

- la descrizione del componente;
- il numero dei campioni da provare;
- i requisiti di montaggio, di connessione ed in generale tutti i requisiti di interfaccia;
- la/le procedure utilizzate per simulare l'invecchiamento;
- le condizioni ambientali e operative da simulare;
- le caratteristiche da misurare, i margini di prova ed i criteri di accettazione;
- i valori limite delle caratteristiche da misurare;
- i requisiti dei dispositivi utilizzati nella prova;
- le manutenzioni e sostituzioni ammesse durante la prova;
- la sequenza delle prove da eseguire sul campione(i);
- la documentazione di prova.

Condizioni e monitoraggio della prova

Durante la prova devono essere applicate al campione sia tutte le variabili (alimentazioni elettriche, segnali di ingresso/uscita, carichi) durante il funzionamento, sia tutte le condizioni ambientali (temperatura, pressione, umidità, vibrazioni, radiazioni nucleari, getti di fluidi, agenti chimici in atmosfera) previste sull'impianto.

Nel corso della prova il campione/i deve essere monitorato utilizzando una strumentazione con una risoluzione adeguata a rilevare variazioni significative delle variabili monitorate.

Montaggio e connessioni

Il componente/sistema in prova deve essere installato meccanicamente, in modalità e posizione, e connesso elettricamente come previsto sull'impianto, a meno che non sia dimostrabile che tali caratteristiche non ne influenzino le funzionalità.

Margini

Nella qualifica per test di tipo, devono essere considerati opportuni margini in modo da ottenere ulteriori garanzie sui risultati della prova. Tali margini possono essere ottenuti aumentando la severità dei profili di prova in termini di: aumento del

numero di cicli, aumento delle durate o incremento del valore delle variabili in gioco (figura 1).

Sequenza delle prove

Nell'approccio a test di tipo, il campione del componente/sistema viene sottoposto ad una serie di prove eseguite in una ben determinata sequenza. Tale sequenza deve essere realizzata in modo da portare il campione nella peggior condizione di "stress", sequenza di prove più severa, in cui potrebbe trovarsi durante la sua vita qualificata prima di essere esposto agli eventi base di progetto. Il campione sotto qualifica deve essere rappresentativo di quello realmente installato in campo in termini di stesso progetto, stessi materiali e stesso processo produttivo.

Nella maggior parte dei casi viene considerata come più severa, la seguente sequenza di prove:

Ispezione visiva iniziale

Viene verificata sia la congruenza del campione, con la documentazione di progetto, che l'integrità meccanica.

Prove funzionali iniziali

Viene verificata la funzionalità del campione nelle normali condizioni di esercizio previste nell'installazione in campo. Questa fase ha anche lo scopo di raccogliere i dati di riferimento, con campione "nuovo", da utilizzare come riferimento per le pro-

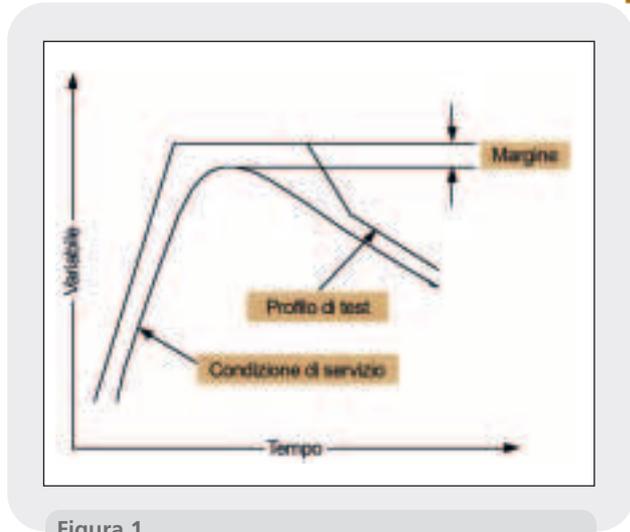


Figura 1
Esempio di margine
Fonte: IEEE Std 323-2003, IEEE Standard for qualifying class 1E equipment for nuclear power generating stations

ve successive. In particolare, viene verificato il funzionamento del campione in caso di:

- valori nominali di progetto;
- valori limite di tutti i parametri previsti nella specifica funzionale;
- quando soggetto a disturbi elettromagnetici irradiati o condotti.

Le prove d'immunità a disturbi di natura elettromagnetica sono realizzate secondo le norme elencate in *tabella 2*.

Un altro aspetto fondamentale della compatibilità

riflettore su

Tabella 2 – EMC immunità: norme di riferimento

| Norma | Titolo |
|--------------------|--|
| IEC 61000-4 Series | Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques |

Fonte: elaborazione dell'autore

Tabella 3 – EMC emissioni: norme di riferimento

| Norma | Titolo |
|--------------|---|
| IEC EN 55022 | Information technology equipment – Radio disturbance characteristics – Limits and methods of measurements |
| IEC EN 55021 | Industrial, scientific and medical equipment – Radio frequency disturbance characteristics – Limits and methods of measurements |

Fonte: elaborazione dell'autore

elettromagnetica, non coinvolto direttamente nel processo di qualifica nucleare, è quello delle emissioni di disturbi. I metodi di misura ed i limiti di emissione sono indicati nelle norme elencate in *tabella 3*.

Invecchiamento

Prima di sottoporre il campione alla prova sismica e agli eventi base di progetto si deve procedere al suo invecchiamento in modo da portarlo nelle condizioni di degrado corrispondenti a quelle che si avrebbero alla fine del periodo d'impiego (vita di progetto). L'invecchiamento può essere sia naturale che artificiale. Nel primo caso il campione, per poter essere inserito nel processo di qualificazione, deve aver funzionato in condizioni d'impianto non meno severe di quelle previste dall'applicazione corrente e deve essere disponibile la documentazione relativa sia all'esercizio che alla manutenzione. Il vantaggio di avere a disposizione un campione invecchiato naturalmente è quello di non dover eseguire studi preliminari per identificare i meccanismi più rilevanti d'invecchiamento e le relazioni tra questi e le cause di guasto.

L'invecchiamento artificiale simula, nel minor tempo possibile, l'invecchiamento naturale mediante l'applicazione di fattori (*stressors*) di opportuna entità. L'entità degli *stressors* deve essere attentamente bilanciata tra la necessità di ottenere l'invecchiamento accelerato e l'insorgenza di condizioni di guasto non possibili nelle reali condizioni d'esercizio normale e anormale. Nel caso d'invecchiamento artificiale è necessario uno studio, una valutazione approfondita, per determinare quali *stressor* applicare, quale è quello dominante e quale è la sequenza di applicazione, più *stressor* contemporaneamente oppure l'applicazione successiva di singoli *stressor*. I principali *stressors* che sono considerati nella sequenza di invecchiamento sono:

- **Invecchiamento termico**

In questo caso il fattore invecchiante è la temperatura. L'invecchiamento naturale è simulato mediante trattamento termico del campione in camere climatiche, sottoponendolo a tem-

perature più alte di quelle d'esercizio per periodi di tempo fissati in accordo alla legge di Arrhenius. Durante il processo d'invecchiamento il componente/sistema può essere energizzato oppure no.

- **Invecchiamento da irraggiamento**

Nel caso in cui componenti/sistemi contengano materiali particolarmente sensibili alle radiazioni, o le cui funzioni di sicurezza possano essere degradate dall'esposizione alle radiazioni, devono essere irraggiati con ratei opportuni in modo da simularne l'esposizione. Il campione sarà irraggiato nelle condizioni di servizio normale e anormale, e la dose integrata dovrà essere equivalente a quella subita durante l'esercizio in termini di tipo di radiazione e durata di esposizione. Durante il processo d'invecchiamento il componente/sistema può essere energizzato oppure no.

- **Invecchiamento da cicli operativi**

Nel caso di invecchiamento per cicli funzionali, il campione sarà sottoposto ad un numero di cicli operativi, elettrici o meccanici, equivalenti a quelli previsti nell'impiego reale sull'impianto.

- **Invecchiamento da vibrazioni in esercizio**

Nel caso in cui componenti/sistemi, in funzionamento normale o anormale, siano soggetti a vibrazioni meccaniche auto-indotte (motori o generatori) o di natura esterna (urti, sollecitazioni generate da fluidi in movimento all'interno di tubazioni, vibrazioni indotte da apparecchiature vicine) il campione deve essere sottoposto a prove che ne riproducano gli effetti mediante tavole vibranti o shaker (eccitatori) elettrodinamici.

- **Invecchiamento da atmosfere aggressive**

Nel caso di componenti/sistemi esposti a spray, getti di vapore saturo contenente acido borico o soggetti ad immersione, il campione deve essere sottoposto a prove che simulino l'effetto di tale invecchiamento.

I requisiti ed i metodi di prova da adottare per la qualifica ambientale di componenti/sistemi ai diversi *stressors* d'invecchiamento sono identificati nelle norme elencate in *tabella 4*.

Tabella 4 – Qualifica ambientale, norme di riferimento per test climatici, meccanici e irraggiamento

| Norma | Titolo |
|--|--|
| IEC 60068-1 Series IEC 60068-2 Series IEC 60068-3 Series | Environmental Testing |
| IEC 60544-2 | Guide for determining the effects of ionizing radiation on insulating materials – Part 2: Procedures for irradiation and tests |

Fonte: elaborazione dell'autore

Prove a forzante inerziale

Nel caso di prova a forzante inerziale il campione, mediante tavola vibrante, è sottoposto alle stesse sollecitazioni indotte dal sisma previsto in sito e riferite al pavimento del piano in cui è installato il componente/sistema.

Durante la prova il campione è monitorato per verificare la capacità di svolgere le proprie funzioni durante e/o dopo il sisma. I requisiti ed i metodi di prova da adottare per la qualifica sismica di componenti/sistemi elettrici e di strumentazione e controllo sono identificati nelle norme elencate in *tabella 5*. Durante questa fase è anche possibile eseguire la prova a forzante impulsiva, simulando le sollecitazioni indotte da impatto aereo.

ne la capacità di svolgere le proprie funzioni di sicurezza. Le prove devono prevedere le seguenti condizioni:

- dose istantanea dovuta ad irraggiamento incidentale;
- rapido incremento di temperatura e pressione per simulare l'incidente all'interno del contenimento;
- opportuni andamenti di pressione e temperatura per simulare le condizioni post-incidentali.

Ispezione finale

Al termine della prova di tipo il campione deve essere verificato visivamente, e se necessario smontato, in modo da poterne valutare lo stato delle parti elettriche e meccaniche.

Tabella 5 – Qualifica sismica: norme di riferimento

| Norma | Titolo |
|-----------|--|
| IEC 60980 | Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations |
| IEEE 344 | Recommended practices for seismic qualification of class 1E equipment for Nuclear Power Generating Stations |

Fonte: elaborazione dell'autore

Prove in condizioni incidentali e post-incidentali

Viene verificato il funzionamento del campione simulando le condizioni ambientali previste in caso di incidente grave, LOCA (*Loss Of Coolant Accident*), o severo (fusione del nocciolo) all'interno del contenimento. Durante le prove il funzionamento del campione viene monitorato per verificar-

Il superamento di tutte le prove previste comporta la qualificazione del componente/sistema e ne certifica una "vita qualificata", corrispondente al periodo di invecchiamento sostenuto dal campione. Tutte le fasi di qualificazione devono essere documentate, e per ciascuna prova devono essere raccolti tutti i dati atti a dimostrare l'adeguatezza del componente/sistema.

Scenario industriale per le attività di qualifica di sistemi e componenti negli impianti nucleari

Federico Fortunato

Ansaldo Nucleare SpA

L'industria del settore nucleare ha sviluppato negli ultimi anni progetti di reattori avanzati caratterizzati da una maggiore sicurezza e semplificazione, di cui si delineano in questo contributo caratteristiche e processi di qualifica di sistemi e componenti

The Industrial Scenario for Nuclear Plant Component and System Qualification

In the last few years, the nuclear industry has developed safer and simpler advanced reactor projects. Their characteristics are reported and the component and system qualification processes described in this article

L'offerta industriale corrente si basa sulla realizzazione di impianti di III generazione, i quali si differiscono dai precedenti della II Generazione per l'ulteriore innalzamento dei criteri di progettazione in termini di affidabilità e sicurezza cui devono soddisfare, onde integrare i requisiti aggiuntivi elaborati a seguito degli incidenti di Three Miles Island e Chernobyl.

Tali impianti risultano pensati altresì per rispondere ad esplicite domande del mercato dell'energia quali:

- economicità nel costo di impianto;
- standardizzazione;
- riduzione nei tempi di realizzazione;
- utilizzo di tecnologie largamente provate.

In ambito III Generazione la risposta industriale a queste domande si è sviluppata principalmente in due filiere quali gli impianti Evolutivi (vedi EPR francese) ed impianti Passivi (vedi AP1000 Westinghouse) basati principalmente sul criterio di passività dei sistemi di sicurezza.

Principali caratteristiche degli impianti Evolutivi sono:

- economia di scala (grande potenza);

- ridondanza;
- difesa in profondità.

Principali caratteristiche degli impianti Passivi sono:

- semplificazione (riduzione numero componenti);
- sistemi passivi e difese in profondità.

Reattori di III generazione evolutiva: EPR

Il progetto EPR è basato sulla tecnologia PWR esistente e sull'esperienza operativa degli impianti standardizzati francesi (N4) e tedeschi (KONVOI). Le principali caratteristiche in termini di sicurezza sono riconducibili a:

- ridondanza e separazione fisica dei sistemi di sicurezza;
- riduzione *core damage frequency* (CDF);
- gestione incidenti severi ed eventi esterni;
- qualifica ad impatto aereo;
- riduzione esposizione personale.

Sono previsti 4 treni di sistemi di sicurezza indipendenti e collocati in aree di impianto distinte e fisicamente separate (al di fuori del contenimento primario - vedi *figura 1*).



Figura 1
La centrale EPR Areva-Siemens (Nota: Nei diversi colori i 4 treni di sicurezza dell'EPR)
Fonte: Quaderno Associazione Italiana Nucleare n. 3/2009

Reattori di III generazione: AP1000

Il progetto dell'AP1000 è un progetto basato sull'utilizzo della tecnologia dei sistemi di sicurezza passivi.

Le principali caratteristiche di sicurezza sono riassumibili nei seguenti concetti:

- semplificazione dell'impianto;
- funzione di contenimento passiva (non servono interventi dell'operatore né intervento di sistemi attivi);
- funzione di spegnimento del reattore a seguito di qualsiasi scenario incidentale realizzato in modo passivo, senza intervento dell'operatore, assicurando la *in vessel retention del core*;
- costruzione di tipo modulare sia per le opere civili che per i sistemi meccanici ed elettrici;
- progetto dei maggiori componenti basato su tecnologia "provata";
- qualifica ad impatto aereo sia per forzante diretta che indiretta.

Va sottolineato che la *joint venture* Ansaldo-Mangiarotti partecipa alla costruzione della prima unità

a Sanmen (Cina), fornendo sia il contenitore metallico che lo scambiatore prototipico PRHR (*Pressurized Reactor Heat Removal*).

Esempio applicativo dei concetti di qualifica a sistemi e componenti

Con lo scopo di rendere più chiara la fondamentale differenza tra tecnologie e filosofie di implementazione dei requisiti di sicurezza, viene di seguito esposto come i due impianti presi ad esempio sono progettati per rispondere al medesimo evento incidentale, la fusione del nocciolo.

EPR

In caso di fusione del nocciolo e sua completa fuoriuscita dal vessel, il progetto del reattore è concepito in modo tale da evitare le situazioni che possano portare al rilascio di importanti quantità di radioattività.

In caso di fusione del nocciolo e di seguente colata del nocciolo fuso al di fuori del vessel, tale colata è incanalata e raccolta in una apposita zona

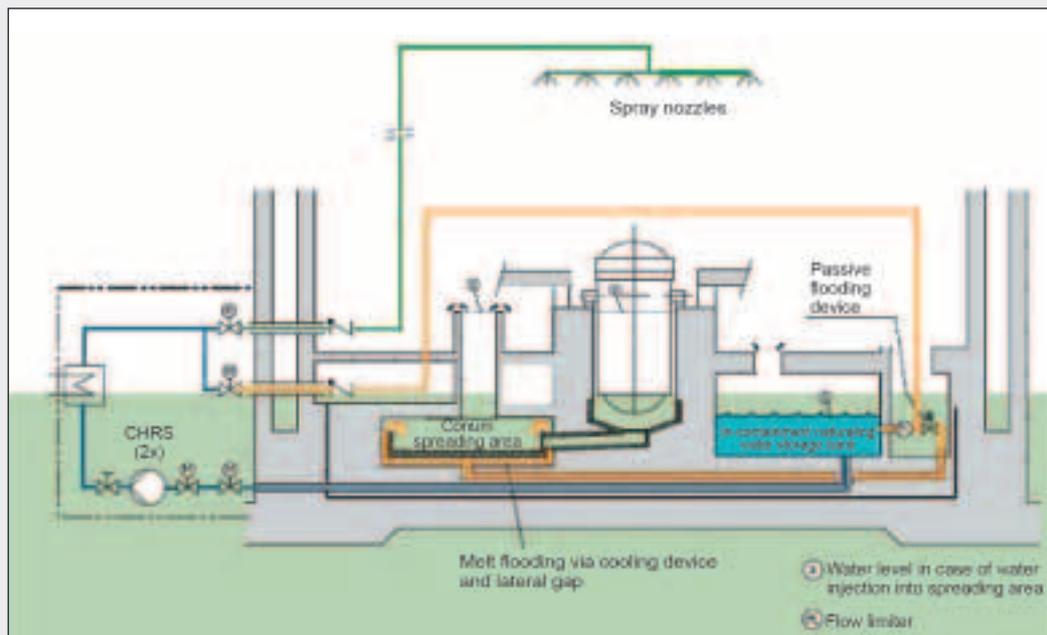


Figura 2
EPR: raffreddamento di emergenza del corium fondente
Fonte: Quaderno Associazione Italiana Nucleare n. 3/2009

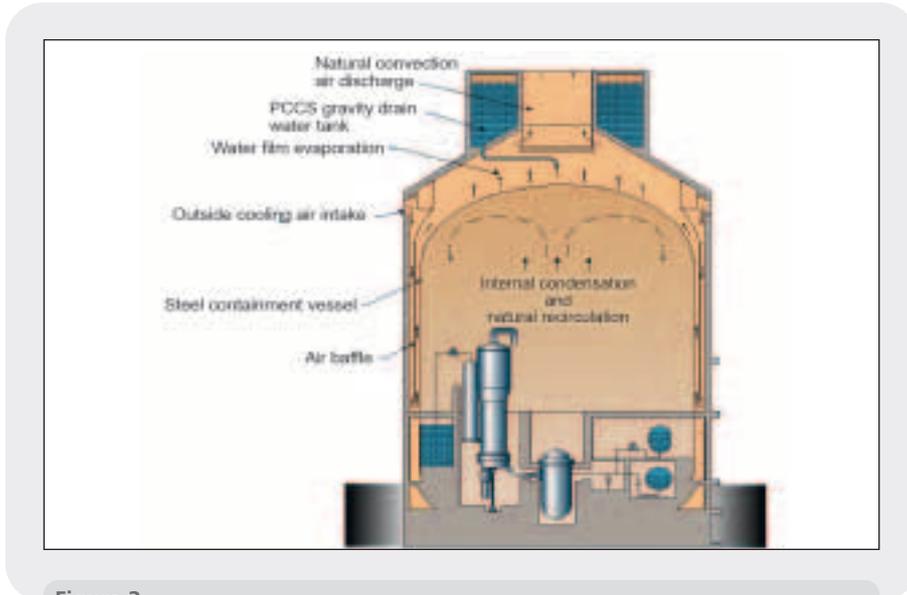


Figura 3
 AP1000: rimozione della potenza di decadimento del nocciolo
 Fonte: Quaderno Associazione Italiana Nucleare n. 2/2009

(*core catcher*) costituita da una grande vasca dotata di un'intercapedine raffreddata. In tal modo è possibile raffreddare la colata senza che questa venga a contatto con l'acqua di raffreddamento; tale acqua è tenuta in costante circolazione da pompe dedicate e raffreddata da appositi scambiatori, come presentato nella *figura 3*.

La funzione di contenimento a seguito di qualsiasi scenario incidentale è garantita attraverso un flusso d'aria a circolazione naturale che, lambendo la pelle esterna del contenitore, garantisce l'asportazione di potenza generatasi all'interno di questo. Il nocciolo è contenuto nel vessel comunque allagato da sistemi di iniezione passivi (caduta mas-

riflettore su

Tabella 1 – EPR e AP1000: principali caratteristiche dal punto di vista della componentistica qualificata

| | EPR | AP1000 |
|-----------------------------|---|---|
| Generatori diesel | Unità soggette a qualifica | Unità non soggette a qualifica |
| Sistemi di emergenza | Si basano su componenti attivi qualificati quali: <ul style="list-style-type: none"> • accumulatori in pressione • valvole in apertura/chiusura • pompe di emergenza | La presenza di componenti attivi qualificati è limitata alle valvole di attuazione La funzionalità di tali sistemi è garantita da principi fisici passivi: <ul style="list-style-type: none"> • gravità • circolazione naturale • condensazione |
| Sistema elettrico | Necessitano di qualifica: <ul style="list-style-type: none"> • quadri MT • quadri BT ac/dc • trasformatori MT/BT • rack batterie | Necessitano di qualifica: <ul style="list-style-type: none"> • quadri BT dc • rack batterie |

Fonte: elaborazione dell'autore

se d'acqua per gravità) che ne assicurano la sua permanente refrigerazione.

A seguito di quanto sopra esposto si può quindi affermare che le principali caratteristiche che differenziano i due impianti presi ad esempio dal punto di vista della componentistica qualificata sono rappresentati in *tabella 1*.

Capacità industriali disponibili nelle qualifiche

Il processo di qualifica di sistemi e componenti, quando richiesto, non presenta differenze tra i due impianti. Tale processo comprende tipicamente le seguenti fasi:

- prove di funzionamento, normali e limite (laboratori di prova e collaudo, EMC);
- processo di invecchiamento finalizzato alla certificazione di vita di progetto uguale a 60 anni;
- termico con possibile presenza di ambienti corrosivi (camere climatiche);
- da irraggiamento (impianto ENEA Calliope);
- vibrazioni e *shock* in esercizio (tavole vibranti e/o elettrodinamiche);
- qualifica a forzante inerziale - prova sismica (tavole vibranti);
- qualifica a forzante impulsiva generata da impatto aereo (tavole vibranti);
- qualifica in condizioni di evento base di progetto, incidente severo e post-evento.

Ovviamente le fasi sopra citate sono da considerarsi

indicative e non esaustive per un processo di qualifica specifico; la definizione del processo di qualifica sarà sviluppata in accordo ai requisiti e concordata tra il progettista e l'ente di controllo preposto.

Conclusioni

Dopo un lungo periodo di stagnazione, ci sono chiari segnali di una nuova, significativa ripresa delle attività per la produzione di energia da fonte nucleare nel mondo.

L'industria nucleare ha sviluppato negli ultimi anni progetti di reattori avanzati caratterizzati da una maggiore sicurezza, semplificazione, disponibilità ed economicamente più competitivi.

Alcuni nuovi reattori della III Generazione (AP1000, EPR, ABWR) sono in fase di costruzione.

I reattori del futuro dovranno rispondere ai nuovi obiettivi di sviluppo durevole e di minimizzazione dei rifiuti. I reattori di IV Generazione avanzata necessitano ancora di intense attività di ricerca e sperimentazione come di prototipi dimostrativi, e saranno quindi industrialmente disponibili solo dopo il 2020-2030.

L'industria e la ricerca italiana hanno partecipato in questi anni alle attività di progettazione e sviluppo dei nuovi reattori e hanno quindi mantenuto le competenze tecnologiche necessarie finalizzate a garantire un processo di qualifica e quindi di realizzazione in linea con i requisiti esistenti.

Le possibili tecnologie veicolari del futuro: caratteristiche e problemi aperti

Francesco Di Mario*
Antonio Mattucci*
Marina Ronchetti**

* ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

** ENEA, Unità di Progetto Ricerca di Sistema Elettrico

Per migliorare la sostenibilità del trasporto stradale una delle opzioni a disposizione è costituita dall'adozione di nuove tecnologie veicolari.

Un esame critico delle soluzioni più promettenti permette di evidenziarne gli aspetti positivi e i limiti, anche alla luce dell'obiettivo della progressiva riduzione della dipendenza dal petrolio

Possible Future Vehicle Technologies: Characteristics and Problems to be Solved

To improve the sustainability of road transport one of the available options is the adoption of new vehicle technologies. To this purpose a description of most promising solutions is provided, highlighting their strengths and limitations, especially with a view to oil dependence reduction

In questo articolo viene presentata la prima parte del lavoro che gli autori hanno dedicato alle tecnologie capaci di rispondere ai problemi di sostenibilità del settore del trasporto su strada. La seconda parte sarà pubblicata sul prossimo numero della Rivista.

Uno dei settori che presenta le caratteristiche di sostenibilità meno soddisfacenti è il settore trasporti, dove il ricorso a nuove tecnologie potrebbe avere effetti benefici realmente importanti; ciò vale in particolare per il trasporto stradale. In quest'ambito, infatti, la gran parte del mercato è tipicamente appannaggio di veicoli che usano carburanti provenienti dalla raffinazione del petrolio (benzina e diesel). Il ricorso ai derivati del petrolio provoca effetti particolarmente pesanti in termini di inquinamento ambientale ed impatto sui cambiamenti climatici, oltre a creare serie preoccupazioni per ciò che concerne la sicurezza degli approvvigionamenti; per quest'ultimo aspetto occorre ricordare che il petrolio viene esportato da pochi paesi produttori, spesso caratterizzati da notevole instabilità politica.

È perciò necessario affrontare da subito il problema, cercando di individuare nuovi carburanti e sistemi di trazione capaci di rendere meno negativo l'impatto del sistema dei trasporti individuando le soluzioni più efficaci. In passato un'opzione su cui si è puntato, forse con una dose eccessiva di ottimismo, è stata quella dell'idrogeno che permette di ottenere emissioni nulle (con celle a combustibile) o molto ridotte (motori a combustione interna) per gli inquinanti atmosferici, di diminuire in maniera sensibile le emissioni di gas serra¹ e di diversificare le fonti primarie utilizzabili per la sua produzione, creando quindi per l'Europa, e in particolare per l'Italia, condizioni ottimali per affrontare contemporaneamente i problemi sopra indicati. Al momento, però, si assiste ad un certo rallentamento nella spinta verso l'adozione dell'idrogeno, anche perché si sono evidenziati alcuni elementi negativi (costi eccessivi, necessità di creare infrastrutture ecc.),

cosa che ha comportato lo spostamento dell'attenzione verso soluzioni diverse. Infatti, considerando la complessità del settore dei trasporti, sono molteplici le soluzioni alternative ipotizzabili per ridurre l'impatto, con l'adozione di tecnologie innovative sia per i veicoli che per i carburanti che potrebbero fornire miglioramenti importanti. È quindi prevedibile che il futuro sarà caratterizzato da un altissimo livello di competizione il cui esito, nel senso di individuare le tecnologie vincenti, non è al momento chiaro. Ognuna delle soluzioni tecnologiche possibili è caratterizzata infatti da vantaggi e punti di debolezza e da tempi più o meno lunghi per il possibile decollo. Questa situazione di incertezza, abbinata alla necessità di dover trovare comunque risposte efficaci, è ovviamente causa di grande preoccupazione, visti gli interessi e gli investimenti in gioco. L'inevitabile conflittualità tra i fautori delle diverse alternative (in particolare chi difende l'assetto attuale e chi auspica cambiamenti più o meno radicali) potrebbe anche far sì che le regole del gioco non siano sempre corrette, promuovendo scelte e soluzioni non provenienti da criteri rigorosi e trasparenti. In tal caso le tecnologie vincenti non sarebbero quelle realmente più efficaci, ma quelle proposte dai soggetti economicamente e politicamente più forti, per cui anche il livello di sostenibilità che si potrà raggiungere non sarebbe ottimale. Particolare attenzione dovrà essere quindi data non solo all'analisi dei vantaggi e delle debolezze delle diverse tecnologie, ma soprattutto all'individuazione di procedure di confronto capaci di rapportare tra loro le diverse soluzioni in modo imparziale.

Per esemplificare la complessità del sistema dei trasporti e scoprire le leve su cui si può più facilmente operare, ci si può riferire all'espressione di Kaya² riportata di seguito e particolarizzata per le emissioni di CO₂^[1]. L'emissione totale di CO₂ (Emiss.CO₂) che si può ottenere dal semplice prodotto del numero di abitanti per l'emissione media per persona, può anche essere scritta come:

$$Emiss.CO_2 = P * T * E * C$$

1. Ciò nel caso sia prodotto da fonti fossili con cattura e sequestro della CO₂ (CCS) oppure da fonti rinnovabili.
2. L'identità di Kaya permette di individuare e determinare i fattori legati all'impatto delle attività umane che producono effetti significativi sul clima.

dove i simboli a destra del segno uguale rappresentano rispettivamente: P la popolazione, T la domanda di trasporto (passeggeri e merci) per persona, E l'intensità energetica del trasporto e C l'intensità di carbonio.

Trascurando la popolazione, per tutti gli altri parametri possono essere individuati meccanismi per ridurre il valore, in modo da ridurre l'emissione complessiva. In particolare il parametro T può diminuire attraverso una diversa pianificazione del territorio, che riduca gli spostamenti, o con un costo maggiore del trasporto (ad esempio attraverso l'incremento della fiscalità) che scoraggi gli spostamenti meno necessari; il parametro E può ridursi aumentando l'efficienza e il fattore di carico dei veicoli e favorendo il ricorso a modi di trasporto a minore consumo specifico; infine il parametro C si può abbassare scegliendo combustibili con minore contenuto di carbonio a parità di energia utilizzata.

Riferendoci all'identità il contributo delle tecnologie veicolari e dei carburanti agisce quindi in prevalenza sui termini E e C . Ovviamente analisi

specifiche devono essere fatte su tutti gli elementi che concorrono alla sostenibilità del sistema dei trasporti.

Alla luce di ciò sembra importante effettuare un'analisi tra le tecnologie veicolari che al momento hanno la possibilità di conquistare un ruolo rilevante nel mercato del trasporto stradale, anche se tale analisi sarà necessariamente abbastanza sintetica e si limiterà alle opzioni più promettenti.

Alternative tecnologiche veicolari

Veicoli a idrogeno

L'idrogeno può essere impiegato in veicoli a combustione interna, sia puro che in miscela con gas naturale, o in veicoli a celle a combustibile. Per dare una visione sintetica dei possibili effetti dell'introduzione di tali veicoli ci si può riferire alla *figura 1*, in cui diverse tipologie di veicoli ad idrogeno sono confrontate con veicoli di tipo convenzionale. I dati riportati in grafico sono tratti da uno studio, riferito all'Europa, condotto da EUCAR, JRC e CONCAWE^[2].

riflettore su

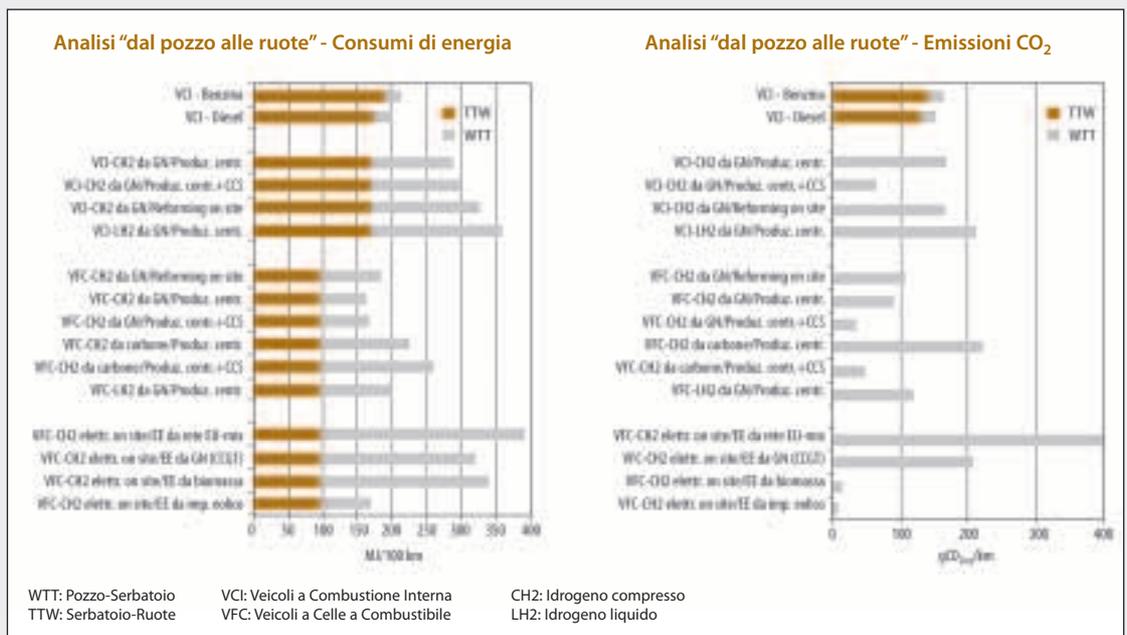


Figura 1
Analisi dal "pozzo alle ruote": consumi di energia ed emissioni di gas serra per veicoli di diversa tipologia
Fonte: EUCAR/JRC/CONCAWE, marzo 2007

Come si può notare, per i consumi di energia sull'intera catena i migliori risultati si ottengono per produzione dell'idrogeno da gas naturale centralizzato e per elettrolisi *on-site* con elettricità prodotta da fonte eolica³. Tuttavia, anche nelle migliori condizioni, i risparmi di energia risultano modesti. Ben diverso è il caso dell'emissione di CO₂. In questo caso per i veicoli ad idrogeno l'emissione è legata solo alla porzione della catena *Well To Tank* (WTT), diversamente dai veicoli convenzionali dove accanto a tale contributo, per altro modesto, si deve aggiungere quello *Tank To Wheel* (TTW). Si possono avere catene in cui l'emissione complessiva della catena dei veicoli ad idrogeno risulta quasi nulla, insieme con altre in cui invece l'emissione risulta molto alta. In particolare appare evidente come, tranne casi particolari, risulti del tutto sbagliato produrre idrogeno dal mix di produzione dell'elettricità, perché porterebbe ad un aggravio ingiustificabile delle emissioni di CO₂. I consumi energetici e le emissioni di CO₂, riportati nella figura, si riferiscono ad autovetture a idrogeno in configurazione *full power* (senza sistema elettrico di accumulo a bordo); l'ibridizzazione porta ad un miglioramento dell'efficienza del veicolo e quindi ad una riduzione di questi parametri dell'ordine del 10-15% nel ciclo di riferimento utilizzato.

Veicoli a idrogeno a combustione interna

L'idrogeno può essere impiegato nei motori a combustione interna. Esperienze significative sull'uso dell'idrogeno sono state fatte con motori convenzionali opportunamente modificati. Per sfruttare al meglio le potenzialità dell'idrogeno è però necessario che i motori vengano progettati ad hoc, tenendo conto delle diverse caratteristiche energetiche del vettore (più ampi campi di infiammabilità, minore energia di ignizione e velocità di fiamma quasi doppia).

I maggiori costruttori automobilistici ritengono che

la realizzazione di motori a idrogeno sia fattibile con le tecnologie attualmente disponibili, una volta che le condizioni al contorno (creazione delle infrastrutture di rifornimento e normative) siano tali da generare un sufficiente volume di mercato.

La sperimentazione di autovetture o di autobus con motore a combustione interna alimentati a idrogeno è stata condotta o è in corso principalmente negli USA e in Europa, anche se l'impegno rimane contenuto e sensibilmente minore di quello rivolto ai sistemi con celle a combustibile. Negli ultimi anni attività di sviluppo sono state portate avanti da BMW, Ford Motor Company, Mazda e MAN (autobus).

L'utilizzo dell'idrogeno nei motori a combustione interna riveste certamente molta importanza nella prima fase di presa di mercato, perché fa riferimento a tecnologie del tutto simili a quelle dei veicoli convenzionali. In questa fase infatti, con un numero necessariamente modesto di stazioni di servizio capaci di erogare idrogeno, si potrebbe comunque pensare a veicoli a doppia alimentazione idrogeno-benzina, cosa che garantirebbe un ampio livello di flessibilità, darebbe la possibilità di utilizzare il veicolo anche in aree non coperte da distributori e potrebbe non richiedere incrementi di costo eccessivi. Nel lungo termine invece, in caso di successo e quindi con una buona rete di stazioni di servizio a idrogeno, la soluzione tecnologica non potrà che essere quella delle celle a combustibile che permettono rese energetiche più alte ed eliminano tutte le emissioni atmosferiche nocive, non del tutto assenti nei veicoli a combustione interna. Per quanto attiene le emissioni di CO₂ da parte dei veicoli, che sono invece da valutare sulla base dell'intera catena, si può arguire che i vantaggi saranno comunque limitati o addirittura inesistenti, sempre nell'ipotesi di un loro massimo utilizzo nel primo periodo di dispiegamento dell'idrogeno. In tale fase, infatti, la produzione di idrogeno, soprattutto per contenere i costi, non potrà che essere basata sulle

3. L'ipotesi che si fa, chiaramente ottimistica, è che l'idrogeno sia prodotto quando esiste un surplus di energia elettrica, per cui si può considerare come unitaria l'efficienza associabile alla produzione di elettricità. Ove così non fosse, ovvero se si dovesse produrre ulteriore elettricità per soddisfarne la domanda, sarebbe più corretto prendere in considerazione l'efficienza della tecnologia utilizzata per produrre una quantità di elettricità corrispondente a quella utilizzata per la produzione di idrogeno. Ovviamente l'efficienza complessiva sarebbe significativamente più bassa.

tecnologie consolidate che privilegiano le fonti fossili senza CCS, per cui, non essendo l'efficienza dell'intera catena migliore di quella dei carburanti convenzionali, si potrà avere in parecchi casi un aumento, sia pure modesto, delle emissioni di gas climalteranti. Questo fatto non deve costituire un elemento di freno, perché è regola generale che per avere dei miglioramenti nel lungo termine (con produzione dell'idrogeno sia da fonti rinnovabili che da quelle fossili con CCS) si debbano fatalmente pagare pedaggi significativi nelle fasi di primo dispiegamento delle tecnologie.

Sicuramente possibili sono vantaggi consistenti in termini di sicurezza degli approvvigionamenti, considerando che l'idrogeno può essere prodotto da svariate fonti primarie e può quindi dare una forte spinta verso la diversificazione delle fonti energetiche.

Veicoli a combustione interna a miscela gas naturale - idrogeno

Altra soluzione allo studio è quella che, sempre in motori a combustione interna, prevede l'uso di idrogeno in miscela con gas naturale, in percentuale variabile, ma comunque non superiore al 30%, se si vogliono utilizzare le tecnologie motoristiche esistenti, mantenendo inalterate le prestazioni del veicolo (accelerazione, ripresa, velocità massima) rispetto all'analogo a metano.

L'aggiunta al metano dell'idrogeno, anche a basse percentuali, ha effetti positivi sul funzionamento del motore, riducendo le emissioni, non solo per la sostituzione di una parte del carbonio con idrogeno, ma anche perché la presenza di quest'ultimo dà luogo ad una combustione più completa e veloce, con un aumento significativo dell'efficienza.

Per contro, all'aumentare dell'idrogeno nella miscela, mentre l'energia per unità di peso cresce, l'energia per unità di volume della miscela diminuisce e si registra una riduzione della potenza massima del motore^[3].

Miscele metano-idrogeno sono oggetto di studio in Nord America, Europa e Cina. In Italia, su iniziativa della Regione Lombardia, una flotta di 20 autoveicoli sperimentali alimentati a metano/idrogeno realizzati dal Centro Ricerche FIAT e FIAT Powertrain Technologies entrerà a breve in esercizio nell'area di Milano ed attività dimostrative analoghe sono in

corso (Progetto MHyBus in Emilia Romagna) o previste in altre Regioni italiane.

L'utilizzo delle miscele gas naturale/idrogeno può avere un largo successo in Italia, perché di fatto potrebbe avvenire senza costi aggiuntivi eccessivi, almeno dal punto di vista delle modifiche da apportare ai veicoli. Esiste infatti in Italia una flotta consistente di veicoli a gas naturale, insieme ad una rete di distribuzione del gas naturale abbastanza estesa, che a sua volta potrebbe richiedere modifiche modeste per erogare le miscele invece del solo gas naturale. Inoltre, l'utilizzo delle miscele non incontrerebbe problemi di accettazione da parte degli utenti dei veicoli a gas naturale, che hanno già rimosso la pregiudiziale di utilizzare un combustibile gassoso nel proprio veicolo. Un primo utilizzo delle miscele potrebbe quindi agire come spinta fondamentale per rimuovere le prevenzioni degli utenti finali nei confronti dell'uso dell'idrogeno e favorirne la sua accettazione.

Veicoli a idrogeno a celle a combustibile

L'impiego dei sistemi con celle a combustibile alimentati a idrogeno rappresenta una delle alternative più promettenti nel medio-lungo termine per lo sviluppo di mezzi di trasporto efficienti ed a basso impatto ambientale. Le emissioni a livello locale sono nulle, il rendimento è sensibilmente più elevato di quello di un motore tradizionale (efficienza nel ciclo urbano circa doppia) e le emissioni di CO₂ ridotte, anche a partire da combustibili fossili.

La tipologia di cella a combustibile utilizzata è generalmente quella ad elettrolita polimerico (PEFC), le cui caratteristiche (bassa temperatura di funzionamento, elevata potenza specifica, rapidi tempi di avviamento e relativa semplicità costruttiva) soddisfano meglio i requisiti richiesti dalla trazione. Altra tecnologia di cella ritenuta interessante è quella ad ossidi solidi (SOFC). Quest'ultima, a causa dei lunghi tempi di avviamento, è proponibile unicamente come sorgente di potenza ausiliaria su veicoli pesanti. Al momento la maggior parte dei prototipi è di tipo ibrido: la trazione è affidata ad un motore azionato dalla cella ed un sistema di accumulo di energia (batteria o un supercondensatore) fornisce il complemento di energia necessario in caso di forti accele-

razioni e consente il recupero di energia in frenata. In definitiva, la soluzione di veicoli a celle può fornire i vantaggi più ampi per quanto attiene la sicurezza degli approvvigionamenti, l'emissione di inquinanti atmosferici, l'elevata efficienza e soprattutto l'abbattimento della CO₂; ciò sarà una diretta conseguenza del fatto che il mercato dei veicoli a celle a combustibile si potrà sviluppare più facilmente se la produzione dell'idrogeno sarà realizzata in modo sostenibile, ovvero a partire da fonti rinnovabili o da fossili con CCS.

Nell'ultimo decennio, i governi dei maggiori paesi industrializzati hanno avviato importanti programmi di ricerca, investendo parecchi milioni di dollari, e quasi tutte le industrie automobilistiche hanno realizzato e stanno provando prototipi (autovetture, autobus, veicoli speciali), con investimenti elevati (si stima che Daimler e General Motors abbiano investito oltre un miliardo di dollari ciascuna negli ultimi anni). Alcune case automobilistiche (GM, Hyundai, Honda, Nissan e Toyota) al momento sviluppano in proprio le celle a combustibile, altre hanno preferito stringere accordi di fornitura con i diversi produttori di *stack*: Daimler e Ford Motors sono legati alla Ballard Power Systems, il Centro Ricerche FIAT utilizza sistemi della Nuvera Fuel Cells.

Gli obiettivi dei principali programmi^[4-6] in corso sono riportati nella *tabella 1*⁴. Come si può notare sia negli obiettivi che nei risultati conseguiti, si riscontrano differenze tra i diversi paesi. Ciò può spiegarsi

anche con diverse modalità seguite per determinare i valori dei diversi indicatori.

Nonostante i recenti progressi compiuti occorreranno ancora diversi anni prima che le auto con celle a combustibile siano pronte per la commercializzazione, non solo per difficoltà legate ad uno sviluppo soddisfacente delle tecnologie delle celle a combustibile. È necessario, infatti, risolvere problemi di ordine tecnico ed economico; in particolare occorre creare una diffusa rete di distribuzione e rifornimento dell'idrogeno, disporre di tecnologie idonee a accumularlo in modo affidabile e sicuro a bordo del veicolo, ottenere durate accettabili dello *stack* a livello di sistema (almeno 5.000 ore) e costi compatibili con il mercato dei veicoli, nonché una buona affidabilità.

Un sistema a celle a combustibile, per essere competitivo rispetto ad un motore a combustione interna, deve raggiungere costi di 30 €/kW (100-150 €/kW per mercati di nicchia tipo autobus, furgoni e carrelli elevatori). Oggi, con bassi livelli di produzione, si hanno costi di 2.000-3.000 €/kW, anche se con mercati dell'ordine di alcune centinaia di migliaia di sistemi per anno le tecnologie attuali potrebbero già avvicinarsi agli obiettivi fissati.

La riduzione dei costi dello *stack* viene perseguita intervenendo sia sui materiali dei componenti di cella (sono allo studio nuovi elettrocatalizzatori per gli elettrodi e nuovi materiali per membrane e piatti bipolari), sia sui processi di fabbricazione per ren-

Tabella 1 – Stato e obiettivi delle tecnologie delle celle a combustibile per applicazioni veicolari

| | Stati Uniti (DoE) | | | Giappone (NEDO) | | | | UE (FCH JU) |
|------------|--|-----------------------|-----------------------|-----------------|--|--------------------------|-------------------------|---|
| | Stato 2009 | 2010 | 2015 | Stato 2008 | 2010 | 2015 | 2020 | 2015 |
| Efficienza | 59% | 60% | 60% | 50% | > 50% | 60% | 60% | > 45% |
| Durata | 2.000 h | 5.000 h | 5.000 h | 2.000 h | 3.000 h | 5.000 h | 5.000 h | 5.000 h autovetture 10.000 h autobus |
| Costo | 61 \$/kW (45 €/kW) | 45 \$/kW (33 €/kW) | 30 \$/kW (22 €/kW) | - | 50.000-60.000 ¥/kW (410 - 492 €/kW) | 10.000 ¥/kW (82 €/kW) | 4.000 ¥/kW (32 €/kW) | 100 €/kW (150.000 unità/anno) |
| | (proiezioni per produzione di 500.000 unità/anno) | | | | | | | |

Fonte: per gli Stati Uniti US Department of Energy^[4]; per il Giappone NEDO^[5]; per l'Unione Europea UE^[6]

4. I costi riportati nella tabella e altrove nel testo si basano su un rapporto di cambio di 1 € pari a 1,35 \$ e 122 ¥ (valuta febbraio 2010).

derli compatibili con una produzione di serie. Lo stack richiede poi per il suo funzionamento tutta una serie di componenti ausiliari (sistemi di umidificazione, raffreddamento, alimentazione del combustibile e dell'aria) che vanno ottimizzati in termini di ingombro, efficienza, costo e capacità di funzionare nelle diverse condizioni operative.

Per quanto riguarda il mercato dei veicoli a celle a combustibile le previsioni sono molto diverse tra loro. La maggior parte dei costruttori automobilistici concorda nel ritenere che una prima introduzione nel mercato non si avrà prima del 2015-2020 e che, rimossi gli ostacoli di natura tecnologica, occorreranno interventi pubblici per superare le resistenze derivanti non solo da eventuali maggiori costi del veicolo, ma anche dalla carenza di infrastrutture di rifornimento e di normative che regolino l'uso e la circolazione dei veicoli e dalla mancanza di familiarità con i cambiamenti imposti dai nuovi veicoli circa le loro modalità d'uso.

È probabile che saranno i mezzi adibiti al trasporto pubblico o facenti parte di flotte aziendali che circolano in contesti urbani i primi veicoli a idrogeno ad essere introdotti in maniera significativa, sia per motivi tecnici (i problemi connessi con l'accumulo di idrogeno a bordo e la disponibilità di infrastrutture di distribuzione sono più facilmente risolvibili), sia perché la loro diffusione può essere sostenuta da contributi pubblici, soprattutto in virtù dei benefici ambientali ottenibili circa le emissioni locali di inquinanti atmosferici.

Per favorire un progressivo ingresso nel mercato delle nuove autovetture, si ritiene inoltre che in una prima fase le celle a combustibile potrebbero trovare applicazione su veicoli industriali di piccole dimensioni, come i carrelli elevatori, o su imbarcazioni, oggi equipaggiati con sistemi tradizionali di accumulo elettrico. Sfruttando questi mercati di nicchia, si potrebbe riuscire a ridurre il costo della tecnologia grazie alle economie di scala, agevolare la progressiva creazione di un'adeguata rete di distribuzione dell'idrogeno e al tempo stesso facilitare l'accettazione da parte del pubblico.

Accumulo e distribuzione dell'idrogeno

La mancanza di adeguati sistemi di accumulo è certamente tra i maggiori ostacoli ad un uso diffuso

dell'idrogeno nel settore dei trasporti. Le maggiori difficoltà connesse con l'accumulo dell'idrogeno derivano dalle sue caratteristiche chimico-fisiche: è un combustibile che presenta un'elevata densità energetica riferita alla massa, ma è anche quello con una bassa densità energetica riferita al volume, sia allo stato gassoso che liquido. Da questo deriva che un accumulo di idrogeno risulta molto più voluminoso di un accumulo di pari energia realizzato con un altro combustibile.

I requisiti richiesti ad un sistema per usi veicolari sono ovviamente molto più stringenti rispetto a quelli di sistemi destinati ad applicazioni stazionarie. Le caratteristiche tecniche, economiche e di sicurezza, devono essere tali da consentire prestazioni e funzionalità almeno analoghe a quelle dei veicoli convenzionali. Si richiedono: elevata densità di energia e di potenza, buona efficienza energetica, basse perdite per evaporazione in caso di accumulo in forma liquida, sufficiente durata in condizioni operative, assenza di impatto ambientale e problemi di sicurezza sia nell'uso che nella fabbricazione e smaltimento a fine vita, facilità di gestione delle operazioni di rifornimento e costi ridotti del sistema e delle infrastrutture necessarie per la sua utilizzazione.

Per l'accumulo varie soluzioni tecnologiche sono in uso e di nuove se ne stanno studiando in numerosi laboratori ed aziende sparse per il mondo, grazie anche al notevole impegno finanziario dei programmi pubblici condotti negli Stati Uniti, in Giappone e in Europa. L'accumulo a bordo dell'idrogeno può avvenire con modalità diverse: in forma gassosa, liquida, chimica oppure assorbito/adsorbito su materiali speciali (idruri metallici, idruri chimici, nanostrutture di carbonio). Le soluzioni proposte presentano aspetti favorevoli e svantaggi e, tutte, seppur in parte già utilizzate, richiedono ancora rilevanti sforzi di ricerca e sviluppo per un impiego su larga scala affidabile e competitivo.

Gli obiettivi di ricerca, rivisti nel corso del 2009 sulla base delle indicazioni fornite dai vari produttori automobilistici, attualmente puntano a sviluppare sistemi di accumulo con una densità gravimetrica fino a 1,5 kWh/kg (4,5% in peso di idrogeno) entro il 2010 e 1,8 kWh/kg (5,5% p H₂) entro il 2015; l'obiettivo finale per l'introduzione nel mercato è fissato ad un valore di 2,5 kWh/kg (7,5% p H₂)^[7].

l'idrogeno in forma liquida, anche impiegando tecnologie criogeniche sofisticate.

Da un punto di vista economico, il trasporto con idrogenodotti sembra essere in prospettiva l'opzione più conveniente, anche se richiede investimenti molto elevati nelle infrastrutture (tra 500 e 1.500 k€/km).

L'uso dell'idrogeno nel trasporto richiede inoltre la creazione di un'adeguata rete di stazioni di rifornimento. Più di 180 stazioni sono operative nel mondo ed altre sono in corso di realizzazione (figura 3)⁸⁻⁹⁾ nell'ambito di programmi dimostrativi. Le configurazioni che si possono adottare per una stazione di rifornimento di idrogeno sono molteplici e variano in funzione della tipologia dell'approvvigionamento (produzione *on-site* o centralizzata), della fonte primaria utilizzata (idrogeno prodotto da combustibili fossili o da rinnovabili), della forma in cui l'idrogeno è erogato (idrogeno compresso e/o liquido), della modalità di immagazzinamento presso la stazione. La scelta è determinata tra l'altro dal numero di utenti e quindi dalla quantità di idrogeno che l'impianto deve essere in grado di fornire nell'arco della giornata.

Sono state realizzate inoltre alcune stazioni cosiddette *Total Energy*, nelle quali la produzione locale di

idrogeno è associata alla generazione di energia elettrica e calore (generalmente con sistemi con celle a combustibile), che diversi studi hanno ipotizzato come la soluzione più efficiente, almeno nel breve-medio termine.

In generale, si può stimare che il trasporto e la distribuzione incidono sul costo dell'idrogeno per circa 15-20 €/GJ.

Sulla base delle tecnologie attuali il costo dell'idrogeno alla pompa può essere stimato in 35-70 €/GJ a seconda dei processi di produzione e trasporto presi in considerazione al netto delle tasse. Per un raffronto si può indicare che il costo della benzina alla pompa in Italia (circa 1,4 €/L, tasse incluse) corrisponde a circa 43 €/GJ, per cui c'è anche al presente una potenziale convenienza dell'idrogeno, se non tassato. Gli obiettivi indicati dal DoE nel medio termine danno 12-18 €/GJ⁴⁾, per cui la convenienza risulterebbe ancora più marcata ove tale obiettivo fosse effettivamente raggiunto.

Il problema degli investimenti necessari per la realizzazione di un'infrastruttura per il trasporto e la distribuzione dell'idrogeno è assai critico per il suo sviluppo; anche se la crescita delle infrastrutture potrà essere graduata in funzione dell'evoluzio-

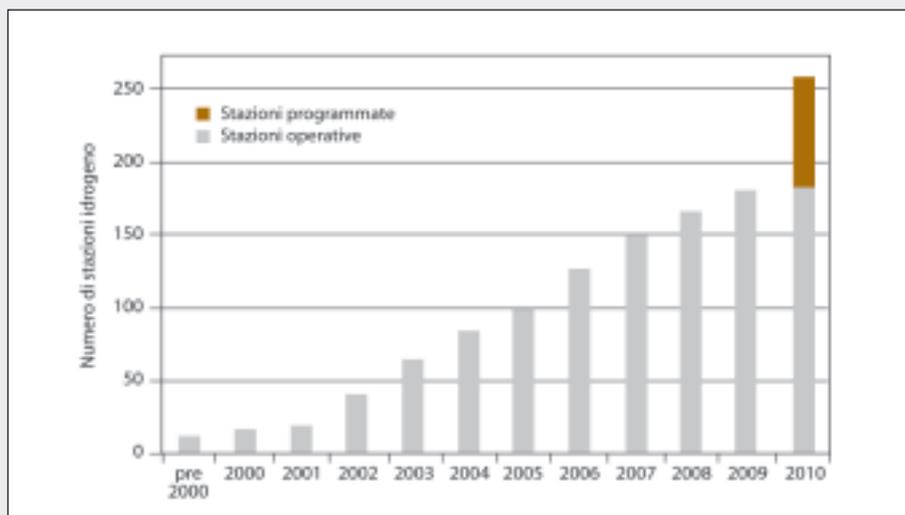


Figura 3
Stazioni di rifornimento di idrogeno operative e di prevista realizzazione (marzo 2010)
Fonte: elaborazione ENEA da fonti diverse

ne prevista per la domanda, sarà necessario in qualche modo anticipare la stessa, per consentire la diffusione dei veicoli e di altre applicazioni e quindi attendere tempi di ritorno degli investimenti più lunghi rispetto ai distributori tradizionali. Alcuni studi^[10] hanno stimato che gli investimenti necessari per la realizzazione di un'infrastruttura che soddisfi una penetrazione del 5% nella sola Europa EU15 nel 2020 sono dell'ordine di 20-35 B€, mentre la realizzazione di una flotta interamente ad idrogeno in Europa nel 2050 richiederà un investimento totale valutabile in 700-2.200 B€^[11].

Veicoli a biocarburanti

L'utilizzo di combustibili derivati dalle biomasse (biocarburanti) rappresenta per l'Italia un'alternativa percorribile nell'ottica della diversificazione delle fonti e della sicurezza del sistema energetico, nonché nel contenimento delle emissioni di gas climalteranti. Tali carburanti, valutati nell'intero ciclo di vita, ovvero dalla raccolta della biomassa fino al consumo nei veicoli, consentono di avere una ridotta emissione di CO₂ rispetto a quelli di origine fossile. Infatti, alla quantità di CO₂ prodotta dalla combustione deve essere sottratta quella assorbita durante la crescita della biomassa stessa, se proveniente da coltivazioni, ovvero quella che verrebbe comunque emessa nella decomposizione, qualora la biomassa provenisse da scarti o rifiuti non utilizzati a scopi energetici. Un ulteriore vantaggio dell'uso dei biocarburanti è legato alle loro elevate proprietà ambientali di biodegradabilità e bassa tossicità in confronto agli analoghi prodotti fossili. Sono considerati biocarburanti i seguenti prodotti:

- *bioetanolo*: etanolo ricavato dalla biomassa ovvero dalla parte biodegradabile dei rifiuti;
- *biodiesel*: estere metilico ricavato da oli vegetali o animali, utilizzati in motori diesel;
- *biogas*: gas combustibile ricavato dalla biomassa, ovvero dalla parte biodegradabile dei rifiuti, trattato in un impianto di purificazione per ottenere proprietà simili a quelle del gas naturale;
- *biometanolo*: metanolo ricavato dalla biomassa;
- *biodimetil-etero* (DME): etere dimetilico ricavato dalla biomassa;
- *bio-ETBE*, etil-ter-butil-etero: ETBE prodotto parten-

do da bioetanolo (la percentuale in volume di bio-ETBE considerata biocarburante è del 47%);

- *bio-MTBE*, metil-ter-butil-etero: MTBE prodotto partendo da biometanolo (la percentuale in volume di bio-MTBE considerata è del 36%);
- *biocarburanti sintetici* (BTL, biomass to liquids): idrocarburi sintetici o miscele di idrocarburi sintetici prodotti a partire dalla biomassa;
- *bioidrogeno*: idrogeno ricavato dalla biomassa, ovvero dalla frazione biodegradabile dei rifiuti;
- *olio vegetale puro*: olio prodotto da piante oleaginose mediante pressione, estrazione o processi analoghi, greggio o raffinato ma chimicamente non modificato, qualora compatibile con il tipo di motore usato e con i corrispondenti requisiti in materia di emissioni.

Le prospettive più interessanti riguardano l'ETBE e il biodiesel.

L'ETBE è un etere prodotto a partire dal bioetanolo, un alcool etilico ottenuto mediante un processo di fermentazione di diversi prodotti agricoli: le colture più adatte ai nostri climi per la sua produzione sono il mais, la barbabietola da zucchero e il frumento. Le filiere di produzione dell'etanolo sono alquanto energivore rispetto a quelle della benzina tradizionale. Nonostante ciò, in termini di energia di origine fossile utilizzata nell'intera catena energetica, si ha una riduzione rispetto alla benzina, soprattutto se si considerano anche i sottoprodotti della lavorazione^[2], per i quali si può avere un consistente risparmio di fonti primarie fossili rispetto alla condizione di doverli produrre direttamente. Riguardo le emissioni di gas climalteranti l'utilizzo di biomasse per la produzione di etanolo comporta una riduzione significativa di tali emissioni rispetto ai combustibili fossili. L'ETBE viene già miscelato alla benzina per aumentarne il potere antidetonante.

Il biodiesel è un biocombustibile prodotto da oli vegetali che, per le Regioni a clima più temperato, possono provenire da: olivo, soia, colza e girasole. I processi di produzione del biodiesel richiedono meno energia rispetto all'etanolo, essendo costituiti da fasi piuttosto semplici, spesso a bassa temperatura e pressione. Valgono pertanto le considerazioni precedenti in termini di efficienza, valutata sull'intera catena, che risulta decisamente più bassa di quella del diesel, anche se riguardo l'utiliz-

zo di fonti fossili si ha una minore incidenza^[2]. In termini di emissioni di gas serra si assiste anche in questo caso ad una considerevole minor emissione di CO₂; occorre però dire che questo effetto positivo viene parzialmente limitato dalle emissioni di ossido nitroso che, avendo un alto potere climaterante, pesano significativamente sull'emissione complessiva. D'altro canto la produzione di glicerina come sottoprodotto di lavorazione consente riduzioni sensibili di emissioni di gas serra. L'applicazione del biodiesel nell'autotrazione comporta, per quanto attiene l'emissione di inquinanti atmosferici nocivi, contributi sia positivi che negativi. Tra i primi si hanno minori emissioni di idrocarburi (in particolare quelli aromatici), ossido di carbonio, particolati (anche se occorrerebbe analizzarne in maggiore dettaglio le tipologie) e ossidi di zolfo, che sono completamente assenti. È invece negativo il contributo degli ossidi di azoto, che aumentano del 10÷15%, in dipendenza della maggiore quantità di ossigeno presente nel biodiesel.

In sintesi, un maggiore utilizzo di biocombustibili nell'autotrazione può contribuire a ridurre sia l'emissione di gas serra, sia l'emissione di alcuni inquinanti atmosferici, sia infine l'importazione di petrolio greggio, permettendo quindi di limitare la dipendenza energetica nazionale. L'aspetto di maggiore criticità è legato dalla larga estensione di territorio da adibire alla coltivazione delle colture energetiche. Ciò impone, nel caso in cui né biomasse né biocarburanti fossero importati, che un'ampia porzione del nostro Paese debba essere destinata a coltivazioni energetiche per permettere la produzione delle colture necessarie, riducendo conseguentemente l'area a disposizione per la produzione di prodotti utilizzabili per l'alimentazione. Situazioni migliori si potrebbero avere con l'avvento dei biocarburanti provenienti da biomasse di seconda generazione, caratterizzate da resa maggiore e soprattutto dalla possibilità di essere prodotte in aree non utilizzate per produzione agricola. Andando ad esaminare l'aspetto relativo alla sostenibilità di una larga introduzione dei biocarburanti nel trasporto stradale, in particolare per quanto attiene i biocarburanti di seconda generazione, devono essere analizzati specificatamente i contesti ambientali, economici e sociali. Il problema principale da affronta-

re riguarda non solo la disponibilità di territorio, ma anche l'esistenza delle condizioni climatiche per un suo proficuo utilizzo e per consentire alle colture di svilupparsi in modo ottimale (ad esempio sufficiente disponibilità di acqua). Ciò potrebbe ridurre sensibilmente le aree disponibili. Accanto a ciò si deve comunque tenere in debito conto che modifiche di destinazione d'uso del territorio potrebbero alterare fortemente l'habitat preesistente e creare danni irreversibili, cosa ovviamente da evitare. Dovrebbero perciò essere eseguite preventivamente analisi approfondite per identificare le aree effettivamente a disposizione per la produzione dei biocarburanti, in modo da stabilire la possibile quota di mercato per il loro utilizzo. Tali analisi dovrebbero anche verificare in quali contesti applicativi si potrebbe avere l'utilizzo più efficiente delle biomasse, per ottimizzarne la resa energetica, non essendo assolutamente certo che ciò debba avvenire nel settore trasporti.

Veicoli a gas naturale

Il gas naturale, quasi esclusivamente in forma di gas compresso, rappresenta già attualmente un combustibile con un significativo grado di utilizzo per l'autotrazione, soprattutto attraverso dispositivi di conversione dei veicoli a benzina. I dati dell'Automobile Club d'Italia del 2008 indicano che circolano in Italia più di mezzo milione di autoveicoli, pari a poco meno del 2% del totale. In generale si tratta di veicoli a doppia alimentazione. La rete nazionale di distribuzione^[12] consiste in 652 stazioni di servizio ed è sicuramente molto ampia, soprattutto se paragonata al resto dell'Europa, dove le stazioni sono complessivamente solo 1.191. I distributori sono però dislocati in modo disomogeneo, con Regioni e aree meglio servite di altre; in particolare, si ha una rete abbastanza capillare in Emilia, Lombardia e Veneto, mentre è tipicamente insufficiente al sud e addirittura nulla in Sardegna. Anche la rete autostradale non garantisce una diffusione di stazioni di rifornimento completamente soddisfacente (solo 28 punti vendita rispetto ai circa 500 dei carburanti convenzionali).

Nell'anno 2008 il consumo stradale di metano^[13] è stato pari a 671 milioni di m³, corrispondenti a circa 0,6 Mtep, ovvero 0,52 Mt; tale consumo è pari a circa l'1% del consumo energetico del settore tra-

sporti. Il potere calorifico del gas naturale è variabile, perché oltre al metano sono presenti sia altri gas come etano e propano con maggiore potere calorifico sia gas inerti, per cui tale indicatore risulta essere diverso da quello del metano, pari a circa 50 MJ/kg (potere calorifico inferiore)⁵. Nell'impiego nell'autotrazione il consumo di 1 kg di gas naturale risulta essere equivalente a circa 1,5 litri di benzina, con un costo pari a poco più del 40%^[14], grazie all'attuale ridotta incidenza delle accise. Il maggiore inconveniente, soprattutto per i veicoli convertiti, riguarda la necessità di installare sulle autovetture un certo numero di serbatoi in pressione (al momento la pressione massima ammessa è 200 bar, anche se in altri paesi europei si possono utilizzare serbatoi a pressione più alta) che ne vanno ad aumentare inevitabilmente il peso. In termini di efficienza non si hanno differenze sostanziali rispetto ai veicoli convenzionali nel caso la motorizzazione del veicolo a gas naturale sia progettata ad hoc, mentre si può avere una certa riduzione della stessa, allorché viene effettuata la conversione di un veicolo esistente. Dal punto di vista della sicurezza, il metano dà sufficienti garanzie, soprattutto perché è più leggero dell'aria e quindi in caso di fuga si disperde abbastanza facilmente nell'atmosfera, minimizzando il pericolo di incendio.

Tra i vantaggi dell'uso del gas naturale è certamente la minore emissione di CO₂, conseguente ad una composizione molecolare in cui il rapporto H/C è pari a 4, mentre per i carburanti convenzionali si colloca intorno a 2. Per dovere di completezza occorre però considerare che, accanto alla riduzione della CO₂, si potrebbe verificare un effetto opposto in caso di perdita in atmosfera di CH₄, cosa che potrebbe facilmente più che compensare tale beneficio, avendo il metano un potere climalterante pari a circa 20 volte quello della CO₂. Occorre quindi usare tutti gli accorgimenti possibili per evitare o ridurre a livelli trascurabili le fughe di metano.

Dal punto di vista dell'inquinamento locale il ricorso al gas naturale produce effetti molto positivi. Infatti riguardo l'emissione degli inquinanti atmosferici si hanno i seguenti vantaggi: assenza di particolato, assenza di idrocarburi aromatici, riduzione rile-

vante degli idrocarburi non metanici, riduzione degli NO_x e riduzione del CO.

Riguardo la sicurezza degli approvvigionamenti l'uso del gas naturale contribuisce a diversificare le fonti primarie con un potenziale miglioramento sotto tale profilo. Va però detto che l'Italia è già fortemente dipendente dal gas naturale per quanto attiene la produzione di elettricità e il residenziale; si potrebbe quindi ricreare nei fatti una situazione di rischio simile a quella già vista per il petrolio. Le forniture di gas naturale, tra l'altro, essendo al momento vincolate ai metanodotti, sono potenzialmente soggette a rischi anche perché le reti di trasporto attraversano regioni politicamente non del tutto stabili. Sono in corso progetti per realizzare impianti di rigassificazione del gas naturale liquefatto da approvvigionare via mare; ciò potrebbe dare un'effettiva opzione per affrontare positivamente possibili periodi di crisi, aumentando il numero di paesi fornitori.

Un maggiore utilizzo del gas naturale potrebbe favorire nel lungo termine anche il ricorso all'idrogeno, sia perché potrebbe rimuovere molte delle pregiudiziali che la cittadinanza ancora mantiene nei confronti dei combustibili gassosi, sia perché alcune delle infrastrutture del gas naturale (metanodotti, stazioni di servizio ecc.) potrebbero essere rese disponibili con investimenti ridotti o addirittura nulli per tale vettore energetico, sia perché si potrebbero utilizzare da subito miscele gas naturale idrogeno nei veicoli a metano.

Veicoli elettrici

Veicoli elettrici a batteria (BEV)

La sostituzione dei motori a combustione interna con motori elettrici rappresenta da tempo un'opzione interessante per affrontare e risolvere i problemi del trasporto stradale. In passato tale opzione non ha avuto grande successo soprattutto a causa delle caratteristiche delle batterie che non garantivano prestazioni accettabili non solo in termini di percorrenza tra due ricariche, durata e costi, ma anche di tempi di ricarica, pesi e volumi. Ancora adesso gli obiettivi di costo per unità di energia immagazzinata sono troppo distanti da quelli desiderati.

5. Si è utilizzato nelle conversioni un valore del potere calorifico inferiore per il gas naturale pari a 47 MJ/kg.

In figura 4 è mostrato un diagramma^[15] di confronto di diversi tipi di accumulo elettrico. La potenza specifica di un motore convenzionale si colloca in 2-3 kW/kg, per cui le differenze risultano essere accettabili. È diverso il confronto con l'energia specifica, dove i dati relativi ai veicoli a combustione interna indicano valori superiori a 1 kWh/kg che invece rimangono distanti di almeno un ordine di grandezza dalle prestazioni di tutte le batterie indicate in figura.

Le batterie a nichel idruri-metallici (NiMH) e quelle al litio-ione si avvicinano agli obiettivi di prestazione desiderati per i veicoli elettrici ed ibridi, mentre i supercondensatori potrebbero fornire prestazioni adeguate per quelli ibridi. Attualmente le batterie a NiMH dominano il mercato delle batterie per auto-trazione, principalmente per le caratteristiche di durata e sicurezza più favorevoli di quelle delle batterie al litio che, dopo un certo numero di ricariche, tendono a ridurre l'energia specifica immagazzinata. Le batterie NiMH potrebbero avere una vita simile a quella del veicolo, se gestite con attenzione. D'altro canto, però, le batterie NiMH sono ancora troppo costose, pesanti ed ingombranti per poter essere considerate come una possibile soluzione per un ampio uso nella trazione stradale.

Le batterie litio-ione hanno invece le potenzialità per diventare il riferimento per i veicoli elettrici futuri soprattutto perché garantiscono valori più alti di energia specifica. Inoltre, per alti volumi di produzione, sembra che il loro costo possa ridursi di più rispetto a quelle a NiMH. Si hanno però limitazioni che richiedono ancora molto impegno. In particolare alcune caratteristiche possono impattare negativamente sulla sicurezza, la durata, il ciclo di vita ed il costo. C'è però una ragionevole speranza che si possa venire a capo di tali limitazioni, sia pure accettando qualche penalizzazione in termini di energia specifica e vincoli per quanto attiene il loro campo di funzionamento.

Al momento, anche se c'è un notevole fermento per una diffusione dei BEV, le limitazioni di percorrenza ne restringono l'utilizzo ai contesti urbani dove le eccellenti caratteristiche riguardo le emissioni nocive rendono molto interessante l'adozione di tali veicoli.

Andando ad esaminare i possibili impatti energetici di una larga penetrazione dei BEV risulta difficile in molti casi effettuare un'analisi del tutto corretta perché, pur essendo semplice valutare i consumi "dalla batteria alle ruote", risulta molto più complicato valutare la parte a monte, ovvero l'incidenza

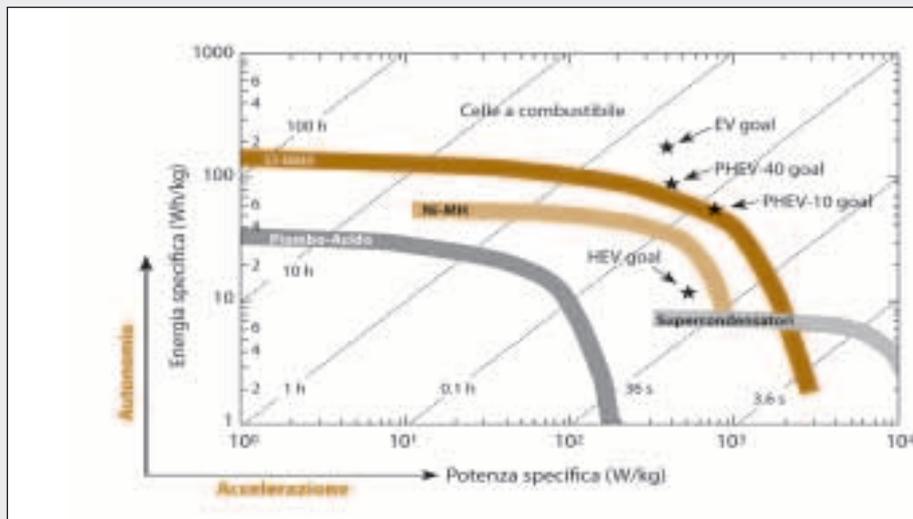


Figura 4
Prestazioni relative di diverse tecnologie di accumulo elettrico
Fonte: V. Srinivasan^[14]

della ricarica della batteria sul consumo complessivo. Infatti in tal caso deve essere presa in considerazione, sia per l'efficienza come pure per l'impatto sui cambiamenti climatici, l'origine dell'elettricità. Istante per istante dovrebbe essere noto il tipo di impianto utilizzato, insieme con la fonte primaria, visto che la ricarica potrebbe comportare una durata significativa. Anche il considerare la media del mix energetico, ipotesi che concettualmente sembra essere accettabile, potrebbe condurre a valutazioni distorte qualora la ricarica venisse fatta in particolari ore della giornata.

Un vantaggio offerto dall'auto elettrica è la possibilità di effettuare la ricarica delle batterie presso la propria abitazione nelle ore notturne, utilizzando l'energia elettrica in un periodo di minore richiesta e con una notevole eccesso di capacità produttiva, con positivi effetti anche in termini di economicità del sistema di produzione dell'energia elettrica.

Malgrado i vantaggi citati, la caratteristica che ostacola lo sviluppo commerciale dei veicoli elettrici è la scarsa autonomia energetica dovuta alla limitata capacità di accumulo delle batterie attualmente disponibili.

L'utilizzo dei veicoli elettrici può dare vantaggi significativi nei riguardi dei cambiamenti climatici, se l'elettricità è prodotta da fonti fossili con sequestro della CO₂ o da rinnovabili⁶, come pure nei confronti delle emissioni di inquinanti atmosferici che si riducono a zero al punto d'uso. Si può anche avere complessivamente un vantaggio considerevole in termini di inquinanti atmosferici, sia perché le centrali di produzione sono spesso localizzate lontano dai centri abitati, e quindi l'emissione va ad impattare una quota modesta della popolazione, sia perché è senza dubbio più facile ed efficace effettuare il controllo delle emissioni nelle centrali che sul parco degli autoveicoli. Anche per la sicurezza degli approvvigionamenti si può avere una situazione migliore, essendo fortemente limitata la dipendenza dal petrolio.

È invece piuttosto complessa la situazione riguardo la penetrazione su larga scala di tali veicoli, consi-

derando la ridotta autonomia, la necessità di creare ex-novo le infrastrutture per la ricarica, i lunghi tempi per la ricarica, i possibili problemi per la disponibilità dei materiali costituenti le batterie, i costi, la durata delle batterie ecc. che fanno sì che difficilmente si possa pensare nel breve termine ad un uso dei veicoli elettrici al di fuori di un mercato limitato ai contesti urbani. È chiaro però che uno sviluppo dei veicoli elettrici potrebbe avere comunque effetti positivi per altre tecnologie veicolari (ibridi, veicoli a celle a combustibile) che potrebbero beneficiare di riduzione per i costi di componenti (batterie, motori elettrici ecc.).

Veicoli elettrici ibridi (HEV)

Un veicolo ibrido è un veicolo dotato di almeno due sistemi di propulsione diversi. I sistemi di propulsione ibridi al momento più interessanti utilizzano un motore elettrico in aggiunta al motore termico, che può essere progettato per lavorare in un campo di funzionamento dove fornisce le rese energetiche ed ambientali migliori. Nel corso degli ultimi anni sono state proposte molte configurazioni di sistemi di propulsione ibridi, alcune delle quali anche molto complesse, ma tutte comunque derivabili dalle due configurazioni base "serie" e "parallelo". Esistono al momento molte autovetture ibride prodotte da diverse case automobilistiche (Ford, Honda, Toyota ecc.) con un mercato annuale che nel 2008 valeva circa mezzo milione di veicoli. In particolare Toyota ha annunciato all'inizio del 2009 di aver messo in commercio più di 2 milioni di autovetture, soprattutto grazie al modello Prius. Ciò dà l'idea che i HEV possono già rappresentare un'opzione fruibile nel mercato delle autovetture, non avendo le limitazioni di percorrenza che invece condizionano i veicoli elettrici. Le autovetture ibride permettono infatti, grazie ai motori elettrici, buone prestazioni in fase di accelerazione, mentre i motori termici vengono usati soprattutto durante la marcia normale. Perciò, durante le soste, il motore termico può essere spento e il consumo di energia azzerato; al momento della ripartenza viene normalmente attivato il moto-

6. Per quanto attiene le rinnovabili, in alcuni scenari futuri si ipotizza che le batterie potrebbero immagazzinare il surplus di energia in caso di bassa domanda e renderla disponibile in un secondo tempo non solo alle autovetture, ma anche alla rete di distribuzione (*smart grids*).

re elettrico, caratterizzato da migliore efficienza. In genere si possono attivare diversi programmi di operazione, a seconda del tipo di marcia del veicolo. Ad esempio in funzionamento in aree urbane si potrebbe attivare un funzionamento con il solo motore elettrico, consentendo il completo abbattimento delle emissioni inquinanti. Inoltre è anche importante evitare che il motore termico sia utilizzato frequentemente in condizioni a freddo, perché in tal caso i dispositivi di abbattimento sarebbero meno efficaci; anche questo tipo di problemi viene normalmente gestito dal sistema di controllo.

Occorre rilevare che, sebbene la fonte di energia utilizzata direttamente o indirettamente per gli spostamenti sia riconducibile a quella procurata dal combustibile convenzionale (il motore termico, con gli opportuni sistemi di conversione, è responsabile della ricarica delle batterie), con i HEV è possibile ottenere apprezzabili riduzioni del consumo energetico non solo perché il motore termico viene fatto lavorare nelle condizioni di maggiore efficienza, ma anche perché, durante le fasi di frenata, il motore elettrico può funzionare come generatore, recuperando parte dell'energia che viene immagazzinata nelle batterie e che altrimenti sarebbe persa. Le batterie, a loro volta, devono essere sottoposte ad un controllo abbastanza stringente per evitare che in certe condizioni di funzionamento del veicolo vengano scaricate al di sotto di un certo limite o siano sovraccaricate ed in tal modo riducono la loro vita.

È chiaro che i migliori risultati si ottengono da un veicolo ibrido quando questo è utilizzato prevalentemente nelle aree urbane; in un prolungato uso autostradale invece i vantaggi sopra menzionati scompaiono ed anzi si può assistere alla loro completa inversione.

Un parametro significativo dei HEV è il cosiddetto rapporto di ibridizzazione H definito come:

$$H = P_{\text{motore_elettrico}} / (P_{\text{motore_elettrico}} + P_{\text{motore_termico}})$$

dove $P_{\text{motore_elettrico}}$ rappresenta la potenza del motore elettrico e $P_{\text{motore_termico}}$ quella del motore termico. Il valore del rapporto può evidentemente variare tra zero, il che corrisponde ad un veicolo convenzionale, e 1, per un veicolo elettrico a batteria. La tendenza è quella di rimanere a valori di qual-

che decina di punti percentuali (ad es. la Toyota Prius ha un H pari al 29%) anche per limitare il numero delle batterie, ma ciò comporta altresì una percorrenza ridotta nel modo solo elettrico. Tipicamente, allorché il livello di carica delle batterie scende al di sotto del limite inferiore, il motore termico viene comunque attivato per ripristinare lo stato di carica ottimale.

C'è una ragionevole sensazione che i HEV possano essere visti come una soluzione intermedia, in attesa dello sviluppo di sistemi più competitivi. Anche in questo caso l'elevato livello di elettrificazione può creare le premesse per la futura penetrazione di nuove tecnologie come ad esempio i veicoli a celle a combustibile, il cui utilizzo si basa molto sull'elettricità.

L'utilizzo dei HEV può dare qualche vantaggio nei riguardi dei cambiamenti climatici, perché, essendo più efficienti dei veicoli tradizionali, richiedono minori quantità di combustibili fossili e quindi danno origine ad emissioni ridotte di CO_2 . I vantaggi sono invece significativi per quanto riguarda la riduzione delle emissioni degli inquinanti atmosferici, che possono ridursi a valori prossimi allo zero nell'uso nelle aree urbane. Per quanto attiene la sicurezza degli approvvigionamenti non si hanno vantaggi rilevanti perché rimane, di fatto, la dipendenza dal petrolio.

Si ritiene inoltre che la penetrazione di tali veicoli possa avvenire senza eccessive difficoltà, considerato che i maggiori costi, per altro abbastanza contenuti, potrebbero essere compensati sia dalla maggiore efficienza, sia dalle buone caratteristiche ecologiche che potrebbero comunque consentire l'utilizzo anche in caso di leggi ambientali più restrittive.

Veicoli Ibridi Plug-in (PHEV)

Un veicolo ibrido *plug-in* è un veicolo ibrido con la capacità di ricaricare le batterie dalla rete elettrica. Tali veicoli garantiscono una modesta percorrenza in modo solo elettrico (dell'ordine di qualche decina di km) e sono dotati di un motore a combustione interna di potenza limitata.

Il PHEV offre una buona soluzione che integra le caratteristiche positive in termini di prestazioni e costo dei HEV con quelle ambientali e di sicurezza de-

gli approvvigionamenti di energia procurate dai BEV. Come il BEV, il PHEV possiede la capacità di sostituire l'energia proveniente dal petrolio con l'energia procurata dalla rete elettrica e, come l'HEV, il PHEV non ha limitazioni di percorrenza. Il tipico funzionamento del PHEV prevede due modi per cui, con lo stato di carica (SOC) della batteria al di sopra della soglia minima, il PHEV opera nel modo "riduzione di carica", con la batteria che si fa carico della richiesta di potenza del veicolo. Una volta raggiunta la soglia minima dello stato di carica, il veicolo commuta nel modo "mantenimento di carica" (figura 5) caratterizzato dall'uso del motore termico che diviene l'unico responsabile della erogazione di energia. Durante questa modalità operativa, lo stato di carica viene mantenuto entro un intervallo di funzionamento ristretto, usando l'energia immagazzinata nelle batterie solo per ottimizzare l'operazione del veicolo in casi particolari (ad esempio nelle ripartenze ai semafori). Gli eventuali utilizzi delle batterie sono reintegrati attraverso il recupero di energia in frenata. Dalla figura si può evincere come nell'utilizzo del veicolo venga attivato il motore elettrico, alimentato a batteria, nella prima porzione dello spostamento; le batterie si scaricano seguendo la curva continua. Allorché viene raggiunta la soglia inferiore dello stato di carica viene messo in funzione il motore termico che rimane in

funzione fino al termine della missione; la curva dei consumi di carburante è indicata dalla curva tratteggiata in rosso, che comincia a crescere dopo la commutazione. Il livello di carica delle batterie può subire delle variazioni, per effetto di frenate che aumentano la carica o ripartenze dove invece viene di norma utilizzato il motore elettrico.

Dal diagramma si può capire come al termine della missione occorra generalmente procedere ad una ricarica delle batterie, cosa che viene fatta collegando opportunamente il veicolo alla rete elettrica. Sempre riferendosi al diagramma, tanto più è ampia la distanza percorribile mediante motore elettrico, tanto più il comportamento del veicolo risulta essere simile a quello di un veicolo elettrico e, viceversa, ad un veicolo convenzionale. La prima opzione comporta l'installazione a bordo di un pacco consistente di batterie e quindi costi presumibilmente più alti. Si potrebbe però pensare di dimensionare la consistenza delle batterie sulla base di valutazioni delle percorrenze tipiche del veicolo, ottimizzando così le prestazioni.

È chiaro quindi che diviene complicata e non del tutto attendibile una valutazione energetica e di efficienza, essendo legata al rapporto tra la parte di percorso effettuata in modo elettrico e quella in modo termico. Dovrebbero a tal fine essere definiti dei cicli di riferimento su cui effettuare le valutazioni, che al momento non sono stati ancora individuati. Comunque, anche in questo caso, sarebbe difficile pervenire in modo generale a stime attendibili, sempre per la difficoltà di valutare correttamente la porzione di percorso eseguita in elettrico. Analogamente è il discorso per le emissioni di CO₂, che risultano fortemente dipendenti dagli impianti effettivamente utilizzati per la produzione dell'elettricità utilizzata per la ricarica. Dovrebbero invece migliorare senz'altro le emissioni locali di inquinanti atmosferici e della sicurezza degli approvvigionamenti, soprattutto nei casi in cui è alto percentualmente il contributo del modo elettrico.

Dal punto di vista delle infrastrutture si può pensare che gli investimenti necessari siano contenuti, considerando che la ricarica potrebbe avvenire nei momenti in cui il veicolo è fermo (per esempio presso la propria abitazione durante le ore notturne, ovvero in prossimità del luogo di lavoro duran-

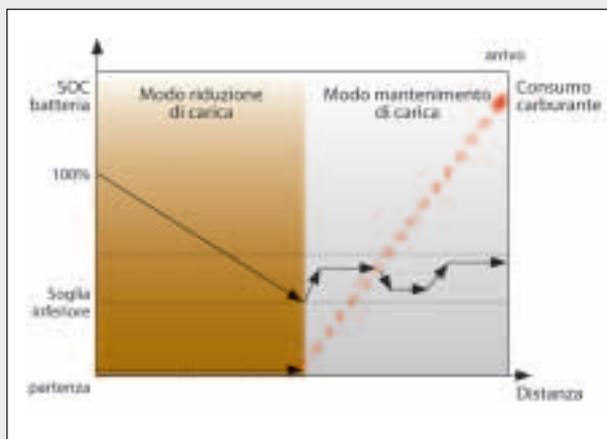


Figura 5
Funzionamento PHEV
Fonte: ENEA

te le ore lavorative), rimanendo valido il concetto che il veicolo può anche essere utilizzato anche per evenienze impreviste, come veicolo termico. È prevedibile che, con un ampio mercato dei PHEV, un qualche potenziamento della rete elettrica si possa rivelare necessario.

Andando ad esaminare il livello di gradimento da parte degli utenti finali si può supporre che esso non si dovrebbe discostare da quello per i veicoli HEV, anche perché i costi dei veicoli PHEV dovrebbero essere del tutto similari.

Conclusioni

In questo articolo sono state esaminate le alternative veicolari che potrebbero contribuire a rendere il trasporto su strada ambientalmente più sostenibile, limitando le emissioni a livello locale e globale e riducendo i rischi associati alla sicurezza degli approvvigionamenti di petrolio e dei suoi derivati che provengono da aree spesso alquanto instabili. Tali opzioni, nella maggior parte dei casi, pre-

sentano promettenti opportunità di crescita industriale, creando quindi premesse importanti di sviluppo della società.

L'analisi di pregi e difetti delle diverse opzioni tecnologiche, evidentemente non esaustiva, ha cercato di individuare criticità e vantaggi delle diverse opzioni. Alla luce di ciò si può ipotizzare che il futuro sarà presumibilmente caratterizzato da un cambiamento significativo dei sistemi di trazione dei veicoli; il risultato sarà la sostituzione totale o parziale del motore termico con sistemi in cui l'elettricità giocherà il ruolo principale. Le opzioni che ragionevolmente saranno in competizione e che potranno coprire fette significative del mercato avranno come fonte di energia l'elettricità fornita da batterie o l'idrogeno utilizzato nelle celle a combustibile. Una valutazione comparativa dei veicoli e idrogeno e a batteria è stata quindi effettuata e sarà oggetto di una memoria specifica, dove saranno esaminati e valutati qualitativamente e quantitativamente gli aspetti più importanti delle relative tecnologie.

Bibliografia

- [1] J.M. Jancovici "The Kaya Equation" September 2003; http://www.manicore.com/anglais/documentation_a/greenhouse/kaya_equation.htm
- [2] EUCAR, CONCAWE and JRC, Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context; Version 2c, March 2007, 03/2007; <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>
- [3] G. Pede, E. Rossi, M. Chiesa, F. Ortenzi, Test of blends of hydrogen and natural gas in a light duty vehicle, Society of Automotive Engineers Paper No. 2007-01-2045, 2007; http://www.dmf.unicatt.it/bong-hy/doc_finali/articoli_sito/JSAE%20Paper%202007.pdf
- [4] U.S. Department of Energy (DoE) Fuel Cell Technologies Program, Multi-Year Research, Development and Demonstration Plan, updated April 2009; <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/mypp/index.html>
- [5] New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO), 2008 Roadmap for Fuel Cell and Hydrogen Technology; <http://www.nedo.go.jp/english/>
- [6] Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU), Multi-Annual Implementation Plan 2008–2013, maggio 2009.
- [7] DOE/EERE, Program Targets for On-Board Hydrogen Storage Systems for Light-Duty Vehicles, febbraio 2009; http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/storage/pdfs/targets_onboard_hydro_storage.pdf
- [8] National Hydrogen Association (NHA), US and Canadian hydrogen fueling station database; <http://www.hydrogenassociation.org/general/fueling-Search.asp>
- [9] Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH e TÜV SÜD, Hydrogen Filling Stations Worldwide database; <http://www.netinform.net/H2/H2Stations/Default.aspx>
- [10] An investigation into the H2 5% 2020 target of the European Commission, NOVEM-TU Wien, Cleaner Drive Project, giugno 2004.
- [11] Techno-economic assessment of hydrogen transmission & distribution systems in Europe in the medium and long term, Report EUR 21586 EN - JRC Petten, marzo 2005.
- [12] <http://www.guidametano.com/italia.htm>
- [13] http://dgerm.sviluppoeconomico.gov.it/dgerm/ben/ben_2007.pdf
- [14] <http://www.metanoauto.com/index.php>
- [15] V. Srinivasan, The Batteries for Advanced Transportation Technologies (BATT) Program, 27 agosto 2009; <http://www.almaden.ibm.com/institute/2009/resources/2009/presentations/VenkatSrinivasan-AlmadenInstitute2009-panel.pdf>

Le energie rinnovabili tra obiettivi globali e opposizioni locali: una valutazione retrospettiva

Alessandro Caramis

Università di Roma "La Sapienza",
Facoltà di Scienze della Comunicazione,
Osservatorio di Comunicazione Ambientale "CAMBIO"

Gli impianti energetici, compresi quelli a fonti rinnovabili, non sono più percepiti dalle popolazioni come simboli di progresso e sviluppo; al contrario, l'attenzione al proprio territorio e a valori quali la salute e l'autodeterminazione, rende le società locali molto più attente al rapporto costi-benefici nell'assumere l'onere di ospitare tali impianti

Renewable Energy Among Global Objectives and Local Objections: a Retrospective Evaluation

Energy facilities and plants, including renewable sources, are no longer perceived as symbols of progress and development by the population. On the contrary, a greater attention to the territory and to values like health and self-determination make local communities focus much more on the costs and benefits deriving from hosting such facilities

Il recente accordo europeo preso sul pacchetto clima ed energia (conosciuto come obiettivo del 20-20-20), il rispetto del Protocollo di Kyoto nonché il recente dibattito sull'opportunità o meno di rilanciare l'energia nucleare nel nostro paese hanno posto al centro dell'attenzione pubblica il ruolo delle fonti rinnovabili nel futuro delle politiche energetiche in Italia.

L'Italia, al pari degli altri paesi comunitari e tecnologicamente avanzati, attraverso una serie di strumenti e meccanismi di incentivazione ha intrapreso la strada dell'investimento in nuove tecnologie energetiche capaci di ridurre o azzerare le emissioni di CO₂ nell'atmosfera. In uno scenario futuro di forte competizione tra diverse/alternative scelte energetiche (CCS, energie rinnovabili, tecnologie per l'efficienza energetica, idrogeno, fissione nucleare) l'opzione delle energie rinnovabili (da ora FER) appare sempre più come una tra le scelte più percorribili ed a portata di mano. Le FER sono destinate infatti a ricoprire una funzione sempre più importante nei futuri assetti strategici del nostro paese. Le ragioni principali sono riconducibili al fatto di poter ridurre le emissioni di CO₂ nell'atmosfera, garantire la sicurezza e diversificazione degli approvvigionamenti energetici, rilanciare gli investimenti nonché offrire opportunità di sviluppo locale a territori oggi in crisi.

Fatta questa premessa, negli ultimi anni assistiamo in Italia sempre di più ad una situazione che chiama in causa non solo la fattibilità tecnico-economica (quali i limiti geografici, la natura intermittente e discontinua delle fonti, l'efficienza, la convenienza economica ecc.) di tali scelte strategiche, bensì ne implica direttamente l'aspetto connesso alla loro accettazione sociale.

La tematica delle contestazioni locali verso gli impianti energetici ha oggi una vasta trattazione nei media e da buona parte del mondo politico, in genere viene spiegata ricorrendo alla nota sindrome Nimby (*Not in my backyard*). Tuttavia questo argomento non potrà essere trattato esaustivamen-

te nel testo, anche per i pareri discordanti esistenti su questo tema. In questo articolo si presuppone che le caratteristiche della sindrome Nimby siano note al lettore.

D'altra parte l'interesse per questi temi è stato sviluppato principalmente attraverso la collaborazione, ormai quasi decennale, con il dr. Gaetano Borrelli dell'ENEA, con il quale ho partecipato a studi e ricerche sulle fonti di energia, in particolare la fusione termonucleare, il cui focus era la comunicazione, la partecipazione e il conflitto.

La ragione per cui ritengo importante focalizzarsi sulle opposizioni locali alle FER è riconducibile al fatto che oggi, oltre a fenomeni di conflitto scaturiti attorno alle "grandi opere" ad elevato impatto ambientale, assistiamo all'accendersi di numerosi contenziosi locali sorti attorno a progetti orientati al miglioramento generale della qualità dell'ambiente. Tra questi figurano anche quelli riguardanti l'implementazione di tecnologie a rinnovabili la cui necessità, sia a livello di opinione pubblica generale e sia nei diversi schieramenti politici è auspicata da tutti. Fenomeni forse meglio spiegabili con l'acronimo più neutro LULU (*Local Unwanted Land Uses*) stanno diventando quindi sempre più frequenti, allargandosi dalle centrali a carbone e dai termovalorizzatori alle tecnologie "alternative": centrali geotermiche, eoliche, a solare termodinamico, solare fotovoltaico, impianti a biogas, di conversione delle biomasse in energia. Dai dati rilevati dall'Osservatorio Nimby Forum^[1] si nota come il *trend* di contestazione negli ultimi anni alle centrali a fonti rinnovabili è in costante crescita (le centrali a biomasse contestate sono passate da 23 nel 2007 a 70 nel 2009, quelle ai parchi eolici da 5 nel 2008 a 20 nel 2009) e non è escluso che le proteste siano state ancora di più.

Da questa situazione si può constatare che in certi casi l'accettazione sociale verso le FER a livello di politiche macro (nazionale o regionale) non coincide sempre con quella verso i singoli progetti energetici a livello micro.

La questione chiave che dobbiamo chiederci non è quindi se e quanto le politiche energetiche a livello nazionale verso le FER siano auspicabili, bensì se e come singoli progetti energetici a livello locale possono essere socialmente desiderabili.

Nell'opinione corrente si è portati a pensare che questo sia un fenomeno esclusivamente italiano, riconducibile all'interno del panorama più vasto delle opposizioni locali verso qualsiasi opera di pubblica utilità. Tuttavia, anche nel resto d'Europa si è andati incontro a simili situazioni ed ancora oggi fenomeni di opposizione locale verso la localizzazione di parchi eolici, centrali a biomasse ecc. non sono del tutto assenti negli altri paesi comunitari. La vera differenza esistente tra l'Italia ed il resto d'Europa si fonda semmai sul fatto che, mentre nel nostro paese studi e ricerche in merito si trovano tuttora in uno stato nascente, negli altri si ragiona su questo fenomeno da circa un decennio, cercando di conoscerne le ragioni, senza etichettare il tutto dietro una sbrigativa "sindrome Nimby".

Quali sono i motivi per cui questo campo di indagine è stato fino a poco tempo fa trascurato? A mio parere, sono da ricondurre principalmente a tre: il primo è dovuto all'attitudine positiva ed alla fondamentale adesione di principio, rilevata da diversi sondaggi ed inchieste, che i cittadini (sia a livello nazionale sia a livello europeo) hanno mostrato e mostrano verso le nuove fonti energetiche alternative ai combustibili fossili^[2]. Il secondo è legato alla natura stessa delle nuove tecnologie a fonti energetiche rinnovabili. Fino a poco tempo fa tali fonti sono state considerate:

- "pulite", quindi esenti da rischi per la salute socialmente percepiti;
- promosse dalla "galassia" legata al mondo ambientalista, quindi sostenute e incoraggiate dai nuovi movimenti sociali;
- prive di impatto sul territorio, quindi esenti da procedure di valutazione di impatto ambientale.

Il terzo motivo è riconducibile all'opinione, piuttosto diffusa, che le barriere interposte alla rapida diffusione delle FER fossero principalmente di natura tecnica, economica e di mercato, e si sono pertanto trascurati altri ostacoli di natura spiccatamente sociale.

Se tutto ciò è vero, dal dibattito in corso è altrettanto evidente come tra gli ostacoli alla loro diffusione si sia trascurata la dimensione sociale. La stessa IEA, nel suo rapporto *Deploying Renewables: Principles for Effective Policies*^[3], riconosce per la prima volta la mancata accettazione sociale come uno tra i principali ostacoli alla diffusione delle FER. L'innovazione portata dalle tecnologie a rinnovabili, per essere realmente tale, deve misurarsi con il sociale (residenti, portatori di interessi e *opinion leader* locali). Tutto ciò viene poco considerato sia dalle autorità predisposte ad avviare le procedure di autorizzazione, sia dalle aziende proponenti dell'impianto. Trascurare questa dimensione è stato un errore perché, da quello che vediamo, spesso è dalle comunità locali che vengono gli ostacoli maggiori alla realizzazione di un progetto, o alla localizzazione di impianti "sostenibili" anche quando in termini di fattibilità economica, tecnico-organizzativa e di mercato non si dovrebbero incontrare difficoltà.

Oltre al miglioramento dell'efficienza tecnica, alla riduzione dei costi, al superamento degli ostacoli amministrativi e quelli collegati alla rete nazionale di distribuzione dell'energia elettrica, occorre prendere in considerazione anche fattori legati a logiche di natura sociale e comunicativa. Questi aspetti sono riconducibili a domande emergenti dal territorio e verranno esposti sinteticamente nel resto di questo articolo.

Le barriere sociali alle tecnologie a rinnovabili

Verso la fine degli anni 90 in alcune ricerche "di frontiera" ci si è chiesto quali fossero gli impedimenti di natura squisitamente sociale che ostacolavano la diffusione delle FER sul territorio. Dai risultati emerse come, a parte qualche elemento di novità, i loro meccanismi di azione fossero analoghi a quanto precedentemente emerso nelle ricerche condotte in tutto il mondo riguardo gli impianti energetici più convenzionali, per i quali sussistono gli stessi problemi di accettabilità sociale. Nessuna di queste spiegazioni ha la pretesa di essere esaustiva, a seconda dei casi potrà prevalere l'una o l'altra, e non è escluso che più d'una pos-

sano essere contemporaneamente valide in una stessa situazione.

La mancanza di informazione

Il ruolo dell'informazione nella diffusione e accettazione delle FER è stato nel passato fin troppo trascurato. L'informazione tecnico-scientifica dei cittadini sulle energie rinnovabili gioca infatti un ruolo di fondamentale importanza nel favorire o meno la desiderabilità verso di esse. Senza informazione non vi è consapevolezza e la cosciente accettazione di un mutamento del proprio territorio, determinato dall'introduzione di una tecnologia verde, è condizionata anche dal livello di informazione posseduto dai cittadini. Da ricerche e sondaggi svolti in merito^[6], si riscontrano risultati contrastanti e per alcuni versi allarmanti: i risultati di queste ricerche mettono bene in evidenza come attorno alle FER ed alle nuove tecnologie che ne fanno uso vi sia ancora poca conoscenza tra il pubblico non esperto.

Inoltre, da tutte le analisi del contenuto condotte sul rapporto tra stampa e informazione ambientale emergono regolarmente due aspetti:

- il *rapporto tra fonti primarie di informazione* (ad esempio agenzie governative, scienziati, tecnici) e mass media è carente da un punto di vista qualitativo e ciò rende difficile divulgare in maniera chiara ed esaustiva le notizie di carattere ambientale, soprattutto se hanno un contenuto tecnologico;
- la *cultura ambientale* dei mezzi di comunicazione di massa è orientata prevalentemente al commento delle emergenze del momento e questo comporta una trattazione dei temi in termini di cronaca piuttosto che di discussione tecnico-scientifica^[7].

Tutto questo è ancora più valido quando le FER vengono trattate nella stampa locale. Quest'ultima rispetto a quella nazionale, rappresenta una maggiore fonte di reperimento delle notizie per i residenti, poiché vi si possono ricavare informazioni specifiche sui temi più strettamente attinenti al territorio. Il ruolo di tale mezzo di comunicazione è quindi particolarmente importante quando si parla di energie rinnovabili. A differenza dei media nazionali (in cui si mettono in evidenza aspet-

ti generali quali il riscaldamento globale, l'effetto serra, la lotta al cambiamento climatico) i media locali sono più orientati ad approfondire aspetti contestuali quali gli interessi dei diversi attori in campo, le preoccupazioni dei cittadini sui rischi tecnologici, l'occupazione, l'assetto e la regolazione del territorio. L'informazione fornita sulle FER è strettamente legata a queste tematiche dalle quali viene influenzata.

È dunque evidente come il trascurare tale *medium* (da parte dei promotori di progetti) possa rivelarsi una scelta poco lungimirante, soprattutto in presenza di una carenza informativa riscontrata sulle fonti e sulla natura delle nuove tecnologie energetiche.

La necessità di ricevere un'informazione adeguata, continua ed esauriente dai proponenti è un aspetto significativo messo in luce dai residenti in aree adiacenti ad impianti esistenti e progettati e la mancanza di informazione (sia in termini quantitativi sia qualitativi) sulle FER non contribuisce a rendere consapevoli i cittadini dei potenziali vantaggi e svantaggi derivati dalla loro introduzione nei propri territori. Attraverso azioni volte a fornire maggiori informazioni è possibile mettere il cittadino in condizione di conoscere preventivamente le tecnologie proposte nel territorio dove egli vive.

La percezione del rischio

Un'altra barriera trascurata è legata all'opinione, largamente diffusa tra promotori e progettisti di tali impianti, che le tecnologie a rinnovabili non possano essere percepite come rischiose per via delle ricadute generali e dei benefici positivi sull'ambiente. Questa convinzione ha portato i promotori di tali tecnologie a sottovalutare del tutto le attività di comunicazione sul rischio ambientale, relegando l'informazione e la comunicazione sull'impianto proposto esclusivamente nella fase finale della progettazione, immediatamente precedente l'avvio dei lavori di costruzione. In questi casi inoltre, la comunicazione esclude del tutto la possibilità delle nuove tecnologie di essere portatrici di rischi (ambientali, sanitari, relativi alla qualità della vita) e si concentra esclusivamente sul lato "verde" di esse. Tuttavia, nelle ultime contestazioni mosse agli impianti a rinnovabili il termine "ri-

schio" ritorna prepotentemente. Così come per gli impianti energetici convenzionali, vi è la paura di effetti negativi sull'ambiente, sulla salute, sulla qualità della vita determinati da parchi eolici, centrali a biomasse o geotermiche. Il problema, tuttavia, non risiede solo nella sottovalutazione di questo fattore, ma anche nel criterio utilizzato per affrontarlo. La tendenza più diffusa è quella di adottare un approccio "ingegneristico del rischio", secondo cui il basso grado di consenso espresso da una comunità locale verso la localizzazione di una centrale energetica nel proprio territorio è legato alla carenza di informazioni ricevute dai tecnici in merito alla bassa percentuale di rischio introdotta.

Il limite attuale della PRA (*Probabilistic Risk Analysis*) è quello di essere ancora utilizzata come unica metodologia per comunicare i possibili rischi, senza prendere in considerazione la dimensione umana della percezione del rischio, anche se questo modello esplicativo mostra oggi tutte le sue carenze. Il consenso di cui gode nel mondo tecnico e politico è ancora tale come se da Chernobyl in poi nulla fosse cambiato, quando fu proprio il disastroso incidente avvenuto alla centrale nucleare sovietica nel 1986 ad aprire un periodo in cui l'infallibilità della tecnica e della scienza furono messi definitivamente in discussione.

Mary Douglas ha ben evidenziato come una possibile fonte di pericolo si possa trasformare in rischio solamente mediante un processo di consapevolezza collettiva^[8]. Il rischio quindi, non è altro che una "costruzione sociale" e la sua percezione dipende da una serie di processi e fattori di diversa natura: culturali, comunicativi, morali, valoriali. Per questo motivo le rassicurazioni sulla base di stime quantitative e probabilistiche non bastano.

L'equa ripartizione dei rischi e benefici

Se l'impatto ambientale di una centrale a rinnovabili è decisamente ridotto rispetto ad una centrale a gas o a carbone è anche vero che tecnologie energetiche ambientalmente neutre vengono proposte indipendentemente dal controllo degli impatti sociali che possono produrre. Tuttavia, da un'analisi delle argomentazioni emerse dai conte-

statori^[9] affiora come sono proprio gli impatti sociali del progetto a costituire in certi casi la fonte principale di preoccupazione da parte di residenti e portatori di interessi, mettendo a rischio la desiderabilità economica e sociale dell'intervento. Nel caso specifico della localizzazione di una nuova tecnologia energetica, una domanda da farsi in fase di progettazione è: *chi perde e chi guadagna dalla sua introduzione*^[10]? Il quesito assume rilevanza perché non sempre i beneficiari di innovazioni tecnologico-energetiche sono coloro che ne sopportano anche i costi e molto spesso si genera un problema di equità tale da determinare fenomeni di rifiuto. Per esempio, le possibili ripercussioni di un parco eolico o di una centrale a biomasse su settori strategici quali il turismo o l'agricoltura possono influire notevolmente sulle percezioni di una società locale. La paura di perdere una reale o potenziale fonte di guadagno, in un operatore turistico o agricolo, oppure in un commerciante, potrebbe prevalere sul timore più lontano del riscaldamento globale o della dipendenza dai combustibili fossili del proprio paese. La percezione di un'ingiustizia subita dalla comunità locale o da alcune delle sue componenti può costituire quindi una forte barriera anche alla diffusione di tecnologie a rinnovabili e la scarsa attenzione, da parte di chi si fa promotore di un'opera, alla distribuzione degli impatti sociali potrebbe contribuire ad alimentare fenomeni di rifiuto, anche laddove l'impianto si configuri ambientalmente sostenibile.

Il processo decisionale

Le modalità attraverso le quali si arriva a decidere la localizzazione di un impianto possono costituire di per sé una barriera alla sua accettazione, che spesso pre-determina la gran parte delle variabili discusse nelle pagine precedenti. Dal processo di *decision making* dipenderà infatti una serie di altri fattori quali l'informazione, la percezione del rischio, una ripartizione equa degli impatti: il senso di ingiustizia percepito da una società locale è strettamente correlato a tali modalità. Il caso radicalmente più negativo è rappresentato da una decisione presa totalmente a prescindere dall'informazione, dal coinvolgimento e dall'avvio di processi comunicativi con i cittadini residenti nel terri-

torio. Oppure da quanto si verifica quando la Regione e la Provincia supportano una decisione aziendale in contrasto con l'amministrazione del Comune. In tutti questi casi, l'unica forma di comunicazione avviene generalmente a decisione presa, e la logica strategica sottintesa a questo comportamento segue il modello DAD (*Decide, Announce, Defend*). In questi casi il conflitto non è causato tanto dal *merito* della decisione, bensì dal metodo mediante cui si è arrivati ad essa. Quello che insegna la vicenda nei conflitti ambientali più recenti è che la gestione dei rischi tecnologici e industriali in genere, nelle nostre società, richiede il "coinvolgimento" del pubblico. Dalle esperienze di successo presenti negli altri paesi dove il fenomeno dei conflitti ambientali non è nuovo (come la Francia, gli Stati Uniti o la Gran Bretagna), è dimostrato che, ai fini di prevenire o evitare tali situazioni, è stata sperimentata una serie di strumenti partecipativi che tentano in vari modi di coinvolgere gli *stakeholder* al momento, e non al termine, della definizione di progetti di sviluppo che ricadono sul proprio territorio. Diversamente, il rischio verso cui incorrono piani che non vanno incontro ad una comunicazione e partecipazione rivolta a tutta la popolazione è la conflittualità (o la bassa accettabilità di essi) che inevitabilmente si scatena tra i soggetti che propongono il progetto e coloro che in esso non si riconoscono. In altre parole, la strategia classica del DAD che mette la gente di fronte al fatto compiuto o ad alternative già prefissate o non realmente tali è sostituita da modelli che mirano ad affrontare possibili situazioni conflittuali attraverso processi negoziali preventivi che abbiano un carattere bi-direzionale ed interattivo^[11].

La percezione del territorio

Infine, una delle caratteristiche distintive degli impianti a rinnovabili rispetto a quelli a combustibili fossili è il maggiore impatto visivo nel paesaggio. Questo naturalmente è relativo alla capacità generativa (per MWh) dell'impianto, ma l'aspetto della visibilità dipende anche dal fatto che - mentre per i combustibili fossili o per l'energia nucleare l'estrazione è realizzata sotto la superficie terrestre o comunque è invisibile ai cittadini - nel ca-

so delle FER la fornitura della materia prima avviene in superficie, con un maggior impatto sul paesaggio e sull'ambiente, e con una maggiore vicinanza ai luoghi di residenza. Il fatto che oggi il paesaggio sia diventato un punto di riferimento importante per le società locali è un altro elemento ampiamente trascurato. Con il regredire delle appartenenze di classe e di quelle ideologiche, i luoghi sono diventati sempre più un "punto di riferimento" per le persone, ed i processi di identificazione con il territorio sono alla base di fenomeni di localismo e di riscoperta dei *milieu* locali. Una tecnologia tesa ad utilizzare a fini energetici risorse naturali del territorio (sole, acqua, terra), può mettere in crisi tutto questo, proprio perché l'impatto visivo da essa derivato può modificarne la rappresentazione sociale. Ciò su cui più si viene ad incidere è la funzione sociale di orientamento svolta dal paesaggio nei significati attribuiti dalle persone. La Cecla^[12] paragona il fenomeno di *crisi della presenza e angoscia territoriale* evocato da De Martino, al processo di perdita di orientamento verso spazi e simboli (quali il campanile del proprio villaggio) vissuto dai migranti negli anni 50. Mentre in questi casi veniva a cadere la funzione di assicurazione ed identità svolta dal luogo di origine, allo stesso modo, la stessa sensazione di estraniamento può verificarsi oggi senza spostamento dal luogo di residenza. In certi contesti quindi le tecnologie a rinnovabili possono essere ritenute nocive non tanto per l'ambiente naturale bensì per l'atmosfera spirituale, lo *stimmung* di determinati paesaggi^[13]. Diverse ricerche in merito ne hanno sottolineato la rilevanza di questa dimensione in diversi casi di contestazione^[14].

L'esistenza di territori e luoghi ai quali sono associati valori non di uso o di scambio bensì valori d'esistenza, identitari, o di fruizione estetica, può dunque vanificare il tentativo di arrivare ad un'equa ripartizione dei costi e dei benefici, anche quando si faccia ricorso a processi decisionali corretti, perché la popolazione può assumere atteggiamenti meno *negoziabili*. Un fattore aggravante è costituito poi dalla diffusione di un immaginario paesaggistico "idilliaco" fra i turisti, gli immigrati di ritorno e i proprietari di seconde case. Questi nuovi residenti (così come gli operatori turistici) ten-

deranno a proteggere il loro investimento emozionale ed economico ogniqualvolta percepiranno progetti di sviluppo o di attività che minacciano il valore delle loro case e l'immagine incontaminata dei luoghi.

Conclusioni

Dalle considerazioni fatte possiamo vedere come l'accettazione sociale delle tecnologie a rinnovabili è una delle condizioni imprescindibili per una loro diffusione sul territorio. Questo articolo non ha preso in considerazione altri aspetti fortemente collegati alla diffusione di nuove tecnologie di distribuzione, come le *smart-grid*, piuttosto il passaggio da un sistema elettrico a generazione centralizzata ad uno a generazione distribuita. Inoltre, le fonti rinnovabili sono diverse, come diversificate sono le tecnologie di conversione e gli utilizzi energetici finali, pertanto ogni caso di opposizione può presentare caratteristiche non sempre generalizzabili. Tuttavia, nonostante per il settore energetico si attenda per il prossimo futuro una rivoluzione sul modello di ciò che è successo per *internet*, l'obiettivo dell'articolo è stato quello di focalizzare l'attenzione sull'antagonismo che a volte si presenta tra obiettivi globali ed esigenze locali. Mentre dei primi – per rispondere alle sfide future sulla sicurezza energetica e sul cambiamento climatico – non se ne può fare a meno, le seconde non possono essere riconducibili sempre a sindromi da rifiuto, bensì nascono dal territorio e riguardano aspetti strettamente attinenti alle sue caratteristiche ed al suo futuro. Nel nostro tempo, gli impianti energetici e gli insediamenti industriali in genere non sono più percepiti automaticamente dalle popolazioni come simbolo di progresso, modernità e sviluppo, con tutto l'armamentario di valori materialisti che ne supportava la loro diffusione. Al contrario, l'attenzione al proprio territorio e a valori post-materialisti (quali la salute, l'autodeterminazione e la democrazia) rende le società locali molto più attente al rapporto costi-benefici nel prendersi carico di accettare determinate servitù territoriali, assumendosi l'onere di ospitare impianti di utilità generale, compresi quelli a fonti rinnovabili.

Vediamo così come, nel caso dei conflitti ambientali aventi come oggetto la localizzazione di una centrale energetica a fonti rinnovabili, ad obiettivi ed interessi globali condivisi da tutti (riduzione delle emissioni di CO₂ nell'atmosfera, riduzione della dipendenza energetica da paesi terzi, mix energetico) si contrappongano pertanto obiettivi ed interessi locali quali: il rispetto delle vocazioni del territorio, l'uso della terra, le scelte di sviluppo, la tutela del paesaggio, la qualità della vita.

Sebbene questi fenomeni sembrano nuovi, già più di venti anni fa Gasparini^[15] metteva in evidenza come le stesse tecnologie create ad hoc per proteggere l'ambiente potevano produrre effetti negativi su di esso, per ragioni riconducibili all'insufficiente contestualizzazione nell'ambito territoriale nel quale venivano inserite, ed alle carenze previsionali riguardo gli effetti collaterali che potevano determinare nel sistema.

L'attenzione al territorio, alle sue vocazioni ed ai suoi futuri sviluppi diventa quindi un elemento non trascurabile per chiunque voglia realizzare un impianto energetico. Quello che occorre oggi è avere un *approccio strategico* capace di collocare l'impianto progettato in una prospettiva di sviluppo più vasta. L'accettazione sociale ottenuta dipenderà dalla capacità del proponente, e di chi è predisposto ad avviare e condurre tutte le procedure di autorizzazione, di poter ideare un progetto che, oltre ad essere vantaggioso, di per sé possa prefigurare dei vantaggi socio-economici per il sistema sociale nel suo complesso. Per approccio strategico si intende un modo di agire che, per evitare o mitigare la conflittualità ambientale verso un impianto energetico, offra alla popolazione l'opportunità di inquadralo in una più ampia e complessiva strategia di sviluppo del territorio il più possibile vicina alla visione che ne sostiene il modello di sviluppo e – qualora non sia leggibile chiaramente la visione comune di una strategia di sviluppo – il più possibile integrata in una prospettiva di crescita organica per la cittadinanza e per il territorio nel suo complesso. Da ciò discende l'importanza di una progettazione strategica, ma soprattutto di una presentazione dell'intero piano di intervento che consenta di leggerli – al di

la degli obiettivi globali – una proposta di trasformazione territoriale di ampio raggio, che vada verso la direzione di uno sviluppo locale di tutte le componenti del territorio. È all'interno di questa strategia che si colloca anche l'importanza della scelta degli "interventi compensativi", la cui

percezione non è determinata unicamente dalla loro consistenza, ma soprattutto dalla loro efficacia nel prospettare occasioni di sviluppo e di crescita del capitale sociale (A.R. Montani, 2008). La sfida energetica ed ambientale del futuro dipende anche da questo.

Bibliografia

- [1] Nimby Forum (2008), Il passato lento. *Energia, ambiente e infrastrutture in Italia*, IV Edizione, ARIS, Milano; ARIS (2009) Sintesi Dati Osservatorio Media Nimby Forum- V Edizione.
- [2] Special Eurobarometer (2006), *Attitudes towards energy*, European Commission; Special Eurobarometer (2009), *Europeans' attitudes towards climate change*, European Commission.
- [3] IEA (2008), *Developing Renewables: Principles for Effective Policies*.
- [4] D. Van der Horst (2007), *Nimby or not? Exploring the relevance of location and the politics of voiced opinions in renewable energy siting controversies*, in *Energy Policy* n. 35, pp. 2705-2714, Elsevier, Amsterdam; Wolsink M. (2000), *Windy power and the Nimby myth: institutional capacity and the limited significance of public support*, in *Renewable Energy*, n. 21, pp. 49-64, Elsevier, Amsterdam.
- [5] G. Borrelli (2008), *La sociologia dell'ambiente: tra analisi del conflitto e studio delle realtà locali*, in A. Angelini, *Il Battito d'ali di una farfalla. Beni comuni e cambiamenti climatici*, Atti del Sesto Convegno Nazionale dei sociologi dell'ambiente, pp. 585-587, Edizioni Fotograf, Palermo.
- [6] S. Rugiero (2008), *Sviluppo delle fonti rinnovabili efficienza e risparmio energetico: i primi risultati di una ricerca sugli atteggiamenti ed i comportamenti delle famiglie italiane*, in A. Angelini, *Il Battito d'ali di una farfalla. Beni comuni e cambiamenti climatici*, Atti del Sesto Convegno Nazionale dei sociologi dell'ambiente, Edizioni Fotograf, Palermo.
- [7] A. Cianciullo (1998), *L'anomalia italiana*, in C. Degano, A. Ferro, *Dieci anni di comunicazione ambientale*, p. 26 Sperling & Kupfer Editori, Milano; Eurispes (2008), *Il difficile rapporto tra ambiente e stampa: in che modo la stampa italiana affronta le questioni ambientali?*, in 20° Rapporto Italia 2008, pp. 871-890, Eurilink, Roma; Eurispes (2008), *Il ruolo della comunicazione nella diffusione delle energie rinnovabili: la stampa e il solare*, in 20° Rapporto Italia 2008, pp. 1173-1185, Eurilink, Roma.
- [8] M. Douglas, A. Wildavsky (1982), *Risk and Culture. An essay on the selection of technical and environmental dangers*, p.6, University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London.
- [9] C. Gross (2007), *Community perspectives of wind energy in Australia. The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance*, in *Energy Policy* n. 35, pp. 2727-2736, Elsevier, Amsterdam.
- [10] Finsterbusch, K., Llewellyn, L., Wolf, C.P. (1983), *Social Impact Assessment Methods*, Sage Publications, pp. 15, Beverly Hills/London/New Delhi.
- [11] E. Conti (2006), *La comunicazione ambientale*, in Invernizzi E., *Manuale di relazioni pubbliche II*, pp. 346-347, Mc Graw-Hill, Milano; D. Van der Horst (2002), *Public participation in decision support for regional biomass energy planning*, in *Option Méditerranéennes*, n. 48, 123-130, CIHEAM, Montpellier; M. Wolsink (2007), *Planning of renewable schemes: Deliberative and fair decision-making on landscape issue instead of reproachful accusations of non-cooperations*, in *Energy Policy*, n. 35, pp. 2692-2704, Elsevier, Amsterdam.
- [12] F. La Cecla (1988), *Perdersi. L'uomo senza ambiente*, pp. 35, Laterza, Bari.
- [13] G. Simmel (1907-1911-1913), *Saggi sul Paesaggio*, in Monica Sassatelli (a cura di), Armando Editore, Milano, 2006.
- [14] Fedi A., Mannarini T. (2008), *Oltre il Nimby. La dimensione psico-sociale della protesta contro le opere sgradite*, Franco Angeli, Milano; D. Van der Horst (2002), *Public participation in decision support for regional biomass energy planning*, in "Option Méditerranéennes", n. 48, 123-130, CIHEAM, Montpellier; M. Wolsink (2007), *Wind power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of "backyards motives*, in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n. 11, pp. 1188-1207, Elsevier, Amsterdam.
- [15] A. Gasparini, G. Marzano (1991, a cura di), *Tecnologia e società nella valutazione di impatto ambientale*, pp. 24-25, Franco Angeli, Milano.

Le detrazioni fiscali del 55% nel 2008 per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio

Mario Nocera
Simone Rosciarelli

ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

L'articolo illustra gli ottimi risultati ottenuti dalla campagna nazionale di detrazione fiscale del 55% per interventi di efficienza energetica nel corso dell'anno 2008, evidenziandone al contempo alcuni limiti: gli interventi non sono ad esempio sempre programmati in chiave di efficienza energetica ma in funzione della semplicità di esecuzione e del costo

55% Tax Deductions for the Energy Requalification of Existing Buildings in 2008

This article evaluates the excellent results of the 2008 55% tax-allowance national policy for energy efficiency, trying at the same time to highlight some of its limits: for instance, actions are not always planned in function of their energy efficiency but rather depending on their constructive simplicity and their cost

L'articolo è tratto dal Rapporto ENEA "Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2008".

Il sistema delle detrazioni fiscali del 55% della spesa sostenuta per la realizzazione di interventi di risparmio energetico nel patrimonio immobiliare nazionale esistente è stato introdotto dalla legge 27 dicembre 2006 n. 296 (Legge Finanziaria 2007). In dettaglio:

- per la riqualificazione energetica globale dell'edificio (art. 1 comma 344);
- per interventi su strutture opache orizzontali, strutture opache verticali e finestre comprensive di infissi (art. 1 comma 345);
- per l'installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda (art. 1 comma 346);
- per la sostituzione di impianti di climatizzazione invernale con impianti dotati di caldaie a condensazione o, in alternativa, con impianti dotati di pompe di calore ad alta efficienza ovvero con impianti geotermici a bassa entalpia (art. 1 comma 347).

L'art. 1 commi 20-24 della Legge 24 dicembre 2007 n. 244 (Legge Finanziaria 2008) ha prorogato la detrazione del 55% per alcuni interventi finalizzati al risparmio energetico sino al 31 dicembre 2010, apportando anche dal 1° gennaio 2008 una serie di modifiche alla disciplina del beneficio. Sotto il profilo tecnico, con il successivo Decreto 11 marzo 2008 vengono definiti:

- nuovi valori limite di fabbisogno di energia primaria annua per la climatizzazione invernale nel caso di interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti (comma 344);
- nuovi valori limite di trasmittanza termica per interventi sull'involucro edilizio (comma 345).

Sotto il profilo procedurale, invece, il riferimento normativo per poter accedere al beneficio fiscale per gli interventi di riqualificazione energetica resta

il decreto del Ministro dell'Economia e delle Finanze di concerto con il Ministro dello Sviluppo Economico recante la data del 19 febbraio 2007 (c.d. "decreto edifici"), modificato ed integrato da un decreto omologo pubblicato in data 7 aprile 2008. L'agevolazione consiste in una detrazione dall'imposta sul reddito delle persone fisiche (IRPEF), ovvero dall'imposta sul reddito delle società (IRES) in ragione delle spese sostenute entro il 31 dicembre 2010 ed effettivamente rimaste a carico del contribuente ed è finalizzata alla realizzazione di interventi di riqualificazione energetica sul territorio nazionale. Come per l'anno fiscale 2007, la detrazione è fissata in base alla tipologia di intervento eseguito entro limiti massimi variabili da 30.000 € e 100.000 €. A differenza di quanto previsto per l'anno precedente, però, la normativa vigente per l'anno 2008 prevede la suddivisione del beneficio in rate annuali variabili in numero da un minimo di tre a un massimo di dieci. Tale beneficio inizierà ad essere erogato a cominciare dal periodo d'imposta successivo a quello in corso al 31 dicembre 2008 sino al raggiungimento del 55% del valore massimo detraibile, valore calcolabile in relazione alla tipologia di intervento di riqualificazione energetica effettuato. L'articolo 11 del suddetto decreto edifici incarica l'ENEA di elaborare con cadenza annuale una valutazione sinottica della campagna di monitoraggio: il presente articolo è tratto dal Rapporto Annuale relativo all'anno fiscale 2008 ed ha quindi lo scopo di permettere una lettura sintetica dei dati tecnici ritenuti maggiormente significativi.

Il quadro normativo 2008 e il ruolo dell'ENEA

Il decreto edifici nella sua prima versione del 19 febbraio 2007 (attuativo dei commi 344, 345, 346 e 347 della Finanziaria 2007) è stato modificato

dal DM 26 ottobre 2007 e successivamente integrato con il DM 7 aprile 2008. Tali provvedimenti hanno apportato delle sostanziali modifiche semplificative e procedurali per gli interventi effettuati nel corso dell'anno 2008. Infatti, in base all'art. 9 bis comma 1, il contribuente può scegliere, nella dichiarazione dei redditi relativa al periodo d'imposta in cui la spesa è stata sostenuta, di ripartire la detrazione spettante dal periodo d'imposta in corso al 31 dicembre 2008, in un numero di quote annuali di pari importo non inferiore a tre e non superiore a dieci. Nel precedente anno, invece, la detrazione fiscale doveva essere ripartita necessariamente in tre rate annuali di pari importo. Altro aspetto di particolare rilievo riguarda i giorni utili per presentare la documentazione: 90 giorni dalla data di fine lavori (differentemente dai 60 inizialmente previsti dal decreto edifici versione 2007). Inoltre, il beneficio fiscale del 55% viene esteso anche a nuove tipologie di intervento, prima non contemplate: sono infatti ammessi al beneficio gli impianti geotermici a bassa entalpia e l'installazione di pompe di calore ad alta efficienza in sostituzione del vecchio generatore termico (art. 1 comma 5). Parallelamente, viene considerata la possibilità di poter usufruire della detrazione spettante per eventuali interventi ancora in corso di realizzazione che si protraggono oltre il periodo d'imposta, a condizione che si attesti che i lavori non sono ultimati (art. 4, comma 1-quater).

Ulteriore modifica alla normativa 2007 è legata alla modalità di invio della documentazione: è infatti ammesso unicamente l'invio telematico, tranne nei casi in cui la scadenza del termine di trasmissione sia precedente al 30 aprile 2008, ovvero qualora la complessità dei lavori eseguiti non trovi adeguata descrizione negli schemi resi disponibili dall'ENEA (art. 4, comma 1-ter). Sono infine state introdotte delle semplificazioni procedurali riguardanti gli interventi di sostituzione degli infissi in singole unità immobiliari e l'installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda attraverso la stesura di una

nuova scheda informativa denominata allegato F. Per queste due diverse tipologie di intervento, non è più richiesta la compilazione dell'Attestato di Qualificazione Energetica (o allegato A), ed è questo certamente un fattore degno di nota. Specificamente per la sostituzione degli infissi in singole unità immobiliari, inoltre, non risulta più strettamente necessaria l'asseverazione dell'intervento da parte di un tecnico specializzato. Conseguentemente a questo aggiornamento procedurale, anche la struttura del sito dedicato specificamente alla compilazione telematica degli allegati (<http://finanziaria2008.acs.enea.it>) è stata modificata così da permettere di inviare sia le pratiche semplificate descritte mediante l'allegato F sia le pratiche standard, costituite cioè dai tradizionali allegati A ed E.

Da un punto di vista normativo, va rilevato che altri due nuovi allegati sono stati inseriti nel Decreto edifici versione 2008: l'allegato G e l'allegato H. Il primo è uno schema di procedura semplificata per la determinazione dell'indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale dell'edificio, limitatamente all'installazione di generatori aventi una potenza nominale del focolare (ovvero una potenza elettrica nominale) non superiore a 100 kW. Il secondo, invece, illustra i valori minimi riferiti sia al coefficiente di prestazione (COP) sia all'indice di efficienza energetica (EER), che le pompe di calore installate in un intervento di riqualificazione energetica (sia elettriche che a gas) e gli impianti geotermici devono garantire per poter beneficiare delle agevolazioni fiscali del 55%. In tal senso, è importante sottolineare come la *conditio sine qua non* affinché sia ammessa la detraibilità nel caso di sostituzione impiantistica con pompe di calore è che le stesse debbano "produrre caldo" – e rispettare, quindi, i valori di COP – pur potendo anche (ma non solo) "produrre freddo", ossia rispettando i valori EER.

Relativamente agli impegni formali da soddisfare, si ricorda che la documentazione in parte deve essere conservata a cura del contribuente ed esibita a richiesta degli organi finanziari preposti al

controllo delle dichiarazioni ed in parte invece deve essere inviata all'ENEA. Nello specifico, è da conservare:

- asseverazione di un tecnico abilitato (in alcuni casi questa può essere sostituita da una certificazione del produttore);
- ricevuta del bonifico (bancario o postale) o, per le imprese, altra idonea documentazione;
- fatture o ricevute fiscali comprovanti le spese sostenute in cui sia chiaramente separato il costo del materiale da quello della manodopera;
- ricevuta informatica dell'invio della documentazione all'ENEA.

Di contro, all'ENEA va unicamente inviato:

- attestato di qualificazione energetica, detto anche allegato A;
- scheda informativa sull'intervento realizzato, detta anche allegato E;
- in alternativa ai due allegati sopra elencati è sufficiente la redazione della sola scheda informativa secondo l'allegato F per gli interventi precedentemente definiti.

Analogamente a quanto svolto nel corso dell'anno 2007, il Gruppo di Lavoro denominato "Efficienza Energetica" dell'ENEA ha proseguito nella valutazione degli interventi eseguiti e nel monitoraggio dei risultati ottenuti con la campagna di detrazioni fiscali del 55% sotto il profilo energetico, ambientale ed economico. Parallelamente a tali attività, questo stesso gruppo di lavoro ha svolto (e svolge tutt'oggi quotidianamente) servizio di assistenza tecnica al pubblico e di diffusione dei risultati.

Distribuzione degli interventi

Il Decreto Ministeriale recante data 7 aprile 2008, come accennato, introduce all'art. 5 comma 4 bis un'importante novità procedurale rispetto alla normativa del 2007: viene introdotta infatti

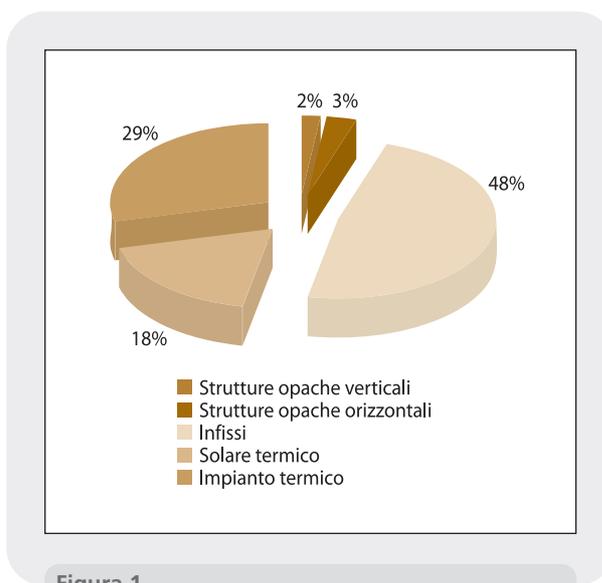


Figura 1
Caratterizzazione delle richieste di detrazione 2008 in funzione della tipologia degli interventi effettuati
Fonte: ENEA¹

una forte semplificazione procedurale nel caso di sostituzione di infissi in singole unità immobiliari e installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria. Per necessità di sintesi all'interno del presente articolo, ci riferiremo alla tipologia di pratiche "semplificate" (allegato F) identificandole con la sigla PRS e alla tipologia standard (allegato A ed allegato E) con la sigla PRQ. Da una prima analisi fredda della distribuzione quantitativa per tipologia specifica di interventi, risulta che oltre il 70% di tutte le pratiche inviate in modalità semplificata PRS riguarda interventi di sostituzione di finestre e quasi il 30% riguarda interventi ai sensi del comma 346: da un punto di vista numerico, tali percentuali si traducono in una distribuzione pari a 98.000 per la prima tipologia di interventi, e oltre 36.000 per la seconda. Più in generale, da quanto evidenziato in *figura 1*, si evince che:

1. *Le detrazioni fiscali del 55% per la riqualificazione energetica del patrimonio edilizio esistente nel 2008*. Dicembre 2009. Rapporto redatto a cura di Mario Nocera e Simone Rosciarelli. ENEA, 2010.

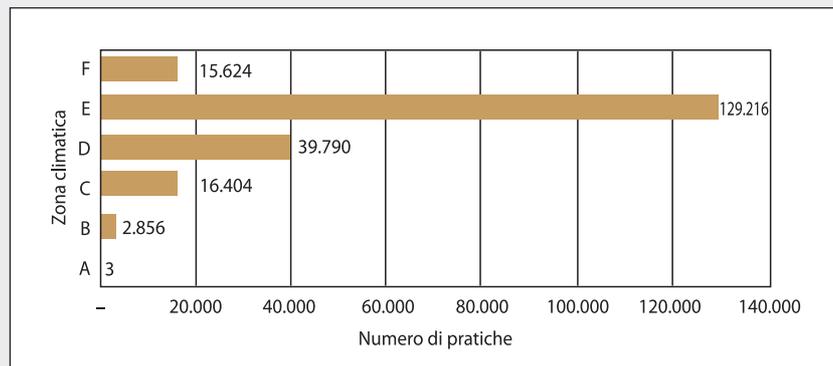


Figura 2
Distribuzione degli interventi effettuati nel 2008 su immobili residenziali in funzione della zona climatica di appartenenza
Fonte: ENEA¹

- la maggior parte delle pratiche ricevute da ENEA nel corso del 2008 è legata alla sostituzione degli infissi (48%), ossia quasi 120.000 interventi su un totale di 248.000 pratiche;
- il 29% del totale delle pratiche si riferisce alla sostituzione dell'impianto di climatizzazione invernale;
- oltre 43.000 pratiche, ossia il 18% del totale, prevede l'installazione di pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria;
- circa il 5% di tutte le pratiche inviate riguarda coibentazione di strutture opache (orizzontali e verticali, con le prime in lieve maggioranza rispetto alle seconde).

Ciò premesso, riteniamo interessante mettere in evidenza la distribuzione degli interventi in funzione della fascia climatica di appartenenza degli immobili. Da quanto illustrato nel grafico in *figura 2*, risulta evidente come oltre il 60% delle pratiche siano state inviate relativamente ad immobili localizzati in zona climatica E.

Significativo risulta anche il contributo degli interventi realizzati in zona climatica D (circa il 20% del totale); di contro, è da considerarsi praticamente nulla la voce specifica degli interventi effettuati in zona climatica A (3 pratiche totali).

Valutazione comparativa biennio 2007-2008

Sulla base dei risultati ottenuti nel corso del biennio fiscale 2007-08, riteniamo doveroso effettuare una panoramica sugli indicatori maggiormente rappresentativi del mercato dell'efficienza energetica connesso al sistema di incentivazione fiscale. In questo senso, riteniamo particolarmente significativo esaminare i valori riscontrati anno per anno per ciò che concerne:

- la distribuzione del numero delle pratiche;
- il risparmio ottenuto in termini di energia primaria;
- le emissioni in atmosfera in termini di CO₂;
- gli investimenti connessi agli interventi effettuati.

È importante premettere che, vista la variabilità degli interventi possibili, si è ritenuto auspicabile effettuare tali valutazioni sulla base del comma richiesto. A tal proposito, risulterà evidente al lettore come, nei diagrammi che seguono, le cifre relative al 2008 siano sostanzialmente inferiori rispetto al dato aggregato analizzato: ciò si spiega in funzione della quota "interventi multipli", di cui non è possibile fornire una maggiore specificazione e che, conseguentemente, sono stati ripartiti in funzione della loro percentuale relativa.

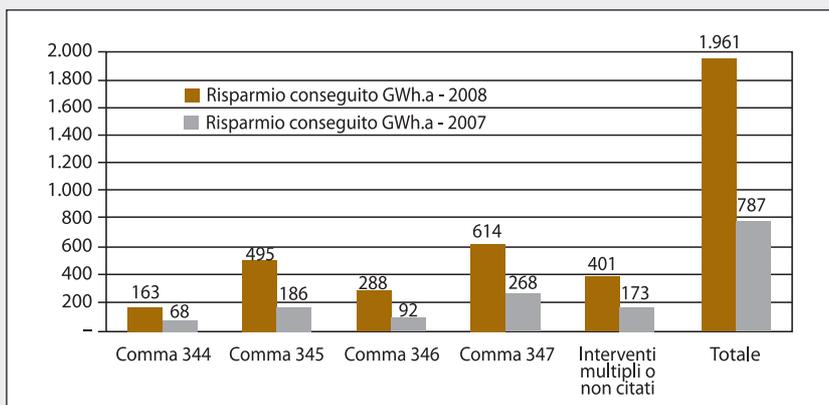


Figura 3
 Confronto della distribuzione di risparmio energetico conseguito nel biennio 2007-2008 in funzione della tipologia di intervento effettuato
 Fonte: ENEA¹

Più nello specifico, entrando in merito al grafico in *figura 3*, i valori specifici di risparmio conseguito rivelano un primo elemento degno di nota: tutte le voci sono cresciute significativamente. Più in dettaglio:

- riqualificazione globale +140%;
- interventi sull'involucro +166%;
- pannelli solari +213%;
- impianti termici +129%;
- interventi combinati +132%.

In maniera particolare, va evidenziata tra questi la *performance* dei pannelli solari le cui installazioni sono cresciute di oltre due volte, incremento che è forse indicatore di una maggiore sensibilità verso le fonti energetiche rinnovabili.

Entrando in merito al risparmio energetico ottenuto con gli interventi (*figura 4*), i dati elaborati evidenziano – e ciò può risultare sorprendente –

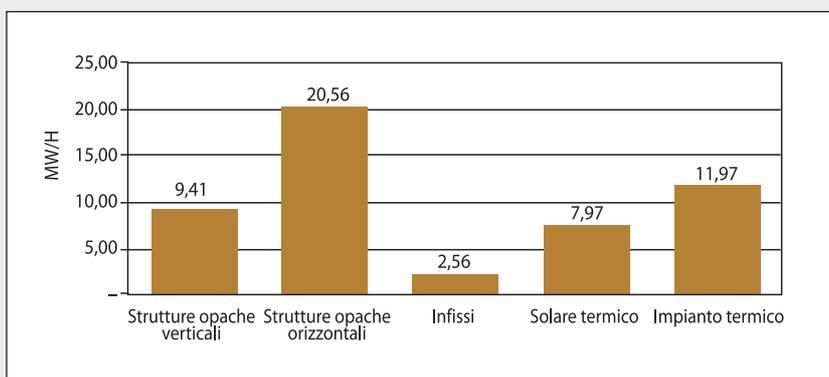


Figura 4
 Caratterizzazione del valore di risparmio medio annuo ottenuto nell'anno 2008 per tipologia di intervento
 Fonte: ENEA¹

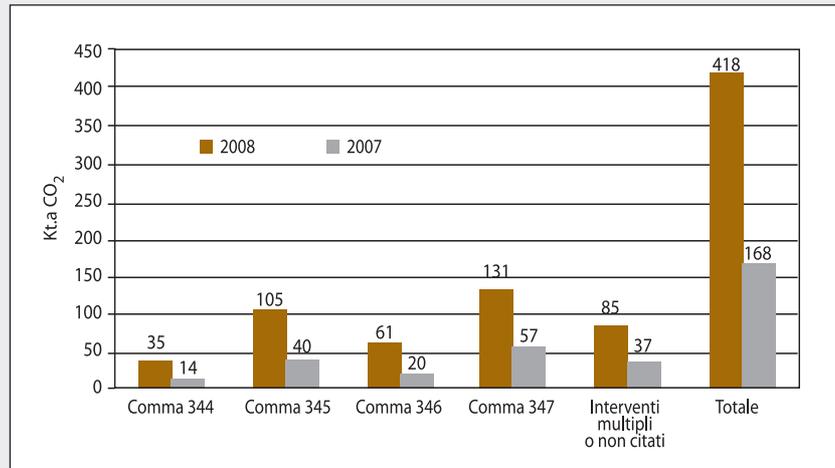


Figura 5
 Il beneficio ambientale in termini CO₂ non emessa: confronto dei risultati ottenuti nel biennio 2007-2008 in funzione della tipologia di intervento effettuato
 Fonte: ENEA¹

come il beneficiario medio sia tendenzialmente indotto a privilegiare l'intervento meno efficiente. In altri termini, ad una prima lettura, potrebbe risultare bizzarra la distribuzione numerica degli interventi, considerando che il valore di risparmio

medio associato all'intervento tipo sia nettamente inferiore, ad esempio, nel caso di sostituzione degli infissi rispetto alle integrazioni delle prestazioni termo igrometriche delle chiusure opache. I dati in nostro possesso, purtroppo, confermano

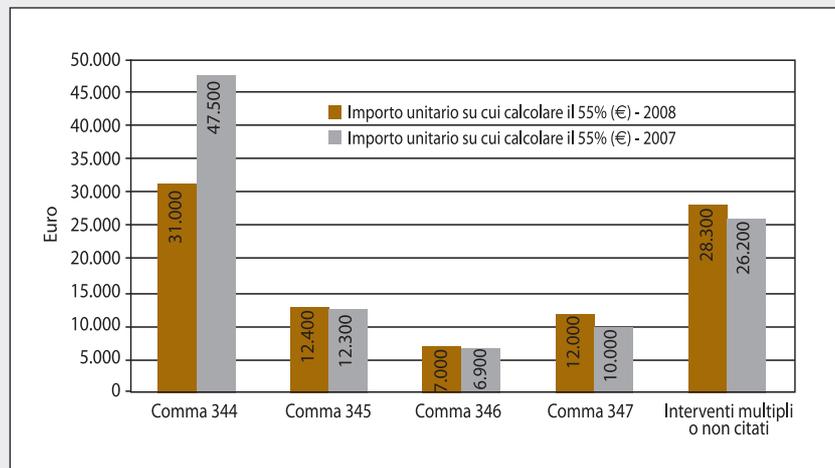
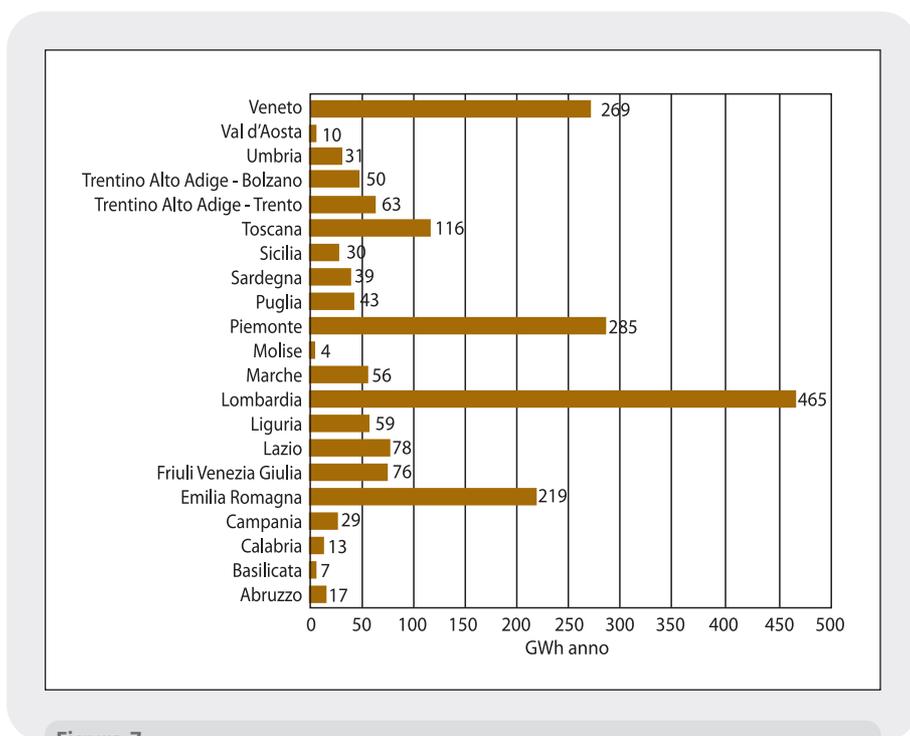


Figura 6
 Il costo medio degli interventi: confronto dei dati dichiarati nel biennio 2007-2008 per ogni tipologia di intervento effettuato
 Fonte: ENEA¹

**Figura 7**

Il risparmio energetico ottenuto a seguito degli interventi effettuati nel corso dell'anno 2008: confronto dei dati regionali

Fonte: ENEA¹

riflettore su

che il numero di riqualificazioni energetiche effettuate sul territorio nazionale risulti del tutto indipendente dall'effettivo risparmio energetico realizzato. Parallelamente, sembrerebbe invece che gli interventi tecnicamente più articolati (ma più efficaci sotto il profilo del risparmio energetico) risultino fortemente penalizzati proprio in ragione della maggiore complessità esecutiva (tempi di realizzazione, necessità di cantierizzazione, complessità dell'iter procedurale e, non trascurabile, costo maggiore).

Strettamente connessa alla lettura di questi ultimi risultati, è da considerare come i valori di anidride carbonica non emessa in atmosfera (dati specifici riportati nel grafico in *figura 5*) siano in netto aumento rispetto all'anno precedente per qualsiasi tipologia di intervento tecnico considerato: ci piace evidenziare, ad esempio, come l'incremento delle installazioni di impianti solari termici abbia porta-

to a triplicare i benefici ambientali in termini di riduzione dei gas serra in atmosfera rispetto al 2007. Sotto il profilo dei costi medi specifici per intervento (*figura 6*), i dati disponibili denotano una sostanziale invarianza fra 2007 e 2008 degli investimenti effettuati per lavori di efficientamento. L'aumento del 20% relativo alla sostituzione degli impianti termici scotta, a parere di chi scrive, la nuova incentivazione delle pompe di calore e degli impianti geotermici (tecnicamente più complessi e più costosi); di contro, l'unico dato in netta diminuzione è quello relativo alla tipologia di interventi effettuati ai sensi del comma 344, per i quali non ci è possibile avanzare ipotesi, stante l'estrema variabilità della tipologia di lavori effettuati.

Una breve analisi in chiave macroscopica del risparmio ottenuto dalle varie Regioni (*figura 7*) dimostra chiaramente come questo parametro sia direttamente proporzionale al numero di interven-

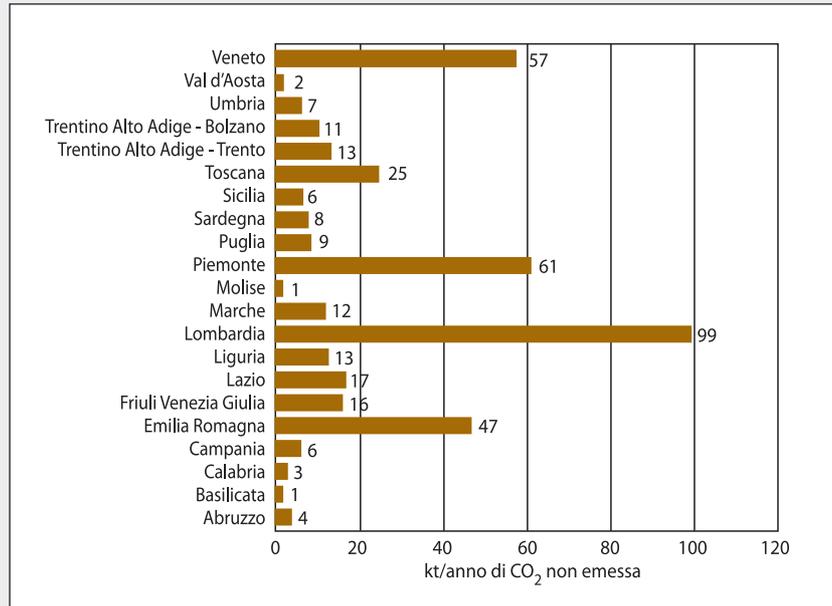


Figura 8
 Il beneficio ambientale ottenuto con gli interventi effettuati nel corso dell'anno 2008 in termini di CO₂ non emessa: confronto dei dati regionali
 Fonte: ENEA¹

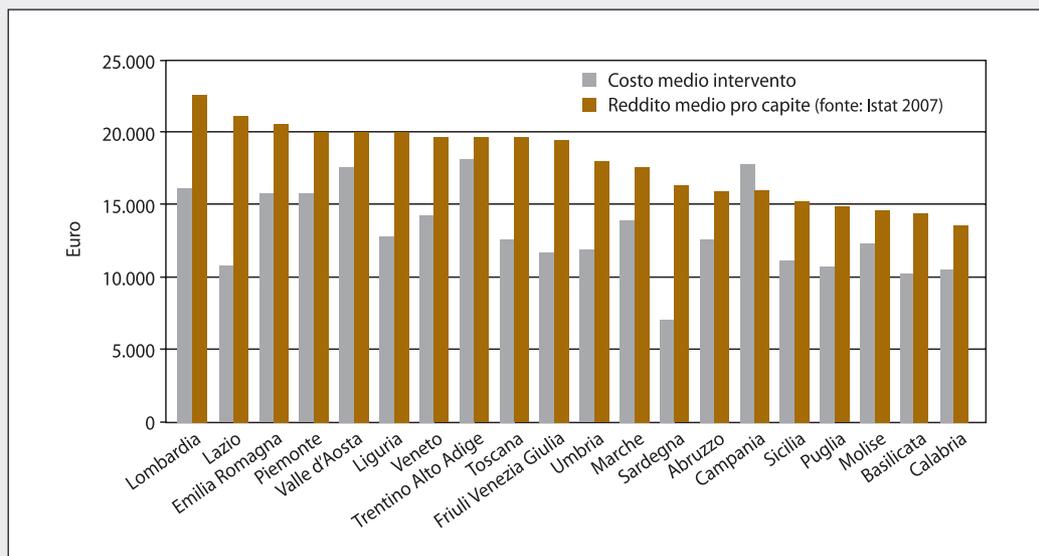


Figura 9
 Valutazione del costo medio degli interventi effettuati nel corso dell'anno 2008: confronto dei valori medi regionali con i dati di reddito medio pro capite
 Fonte: ENEA¹

ti effettuati. Dal grafico è palese che le Regioni che hanno ottenuto i maggiori risparmi energetici sono nell'ordine: la Lombardia, il Veneto, il Piemonte e l'Emilia Romagna. Queste quattro realtà regionali hanno ottenuto da sole più del 60% del risparmio nazionale, il che, tradotto in cifre, corrisponde ad un valore di circa 1.238 GWh a fronte di un totale nazionale di 1.961 GWh. Riteniamo questo un importante elemento di riflessione in termini di distribuzione degli effetti dell'intera campagna di incentivazione sul territorio nazionale.

Il grafico relativo alla CO₂ non emessa in atmosfera (*figura 8*) è qualitativamente speculare a quello del risparmio: non stupisce quindi vedere che le Regioni che non hanno emesso in atmosfera maggiori quantitativi di CO₂ sono nuovamente la Lombardia, il Veneto, il Piemonte e l'Emilia Romagna. Ricordando che il valore nazionale di anidride carbonica non emessa in atmosfera per la campagna 2008 è circa 418 chilo-tonnellate, il valore riferito alle sole quattro Regioni prima menzionate è di 263,7 kt/anno di CO₂ (circa il 63% del totale). Analogamente a quanto sottolineato in precedenza, non possiamo non portare all'attenzione del lettore tale aspetto come evidente segnale di una distribuzione non omogenea dei risultati conseguiti tra le varie realtà regionali.

Entrando poi in merito al costo totale degli interventi, alla luce della forte diversità riscontrata nelle varie Regioni italiane, riteniamo doveroso approfondire la lettura dei dati registrati in funzione della capacità di spesa del beneficiario medio. Su scala regionale, il confronto (*figura 9*) tra il costo medio dichiarato per intervento e il reddito medio (*fonte: dati ISTAT 2007*) porta a delle considerazioni interessanti: la prima, e forse più evidente, è che, in linea di massima, il costo degli interventi è inferiore al reddito medio annuo del potenziale beneficiario. A questa logica, sembrerebbe sfuggire soltanto il caso della Regione Campania, in cui il valore medio registrato di investimento per intervento risulta leggermente superiore al reddito annuo pro capite. Evidentemente, la variabilità della tipologia di interventi non permette di

giungere a conclusioni certe, ma permette unicamente di avanzare ipotesi relative alla maggiore o minore propensione ad investire nel settore specifico dell'efficienza energetica da parte del beneficiario tipo: in funzione del numero di interventi effettuati e della potenziale disponibilità economica, ci piace quindi segnalare l'ottima predisposizione a effettuare interventi nelle Regioni Lombardia, Trentino-Alto Adige, Piemonte ed Emilia-Romagna. Di contro, sotto il medesimo profilo, va sottolineato in negativo il comportamento non altrettanto virtuoso riscontrato, ad esempio, nella Regione Lazio, dove il valore medio di intervento è comparabile soltanto con quello di altre Regioni in cui si registra un reddito pro capite nettamente inferiore.

Conclusioni

Il meccanismo delle detrazioni fiscali del 55% ha certamente avuto il merito di innovare la normativa specifica degli incentivi per interventi di ristrutturazione del patrimonio edilizio. Fino a tutto il 2006, infatti, l'unica agevolazione fiscale prevista era la detrazione dal reddito imponibile del 36% di quanto speso, mirata principalmente a interventi di ristrutturazione edilizia. Da un punto di vista dei contenuti della normativa, gli immediati motivi di interesse sono stati sia la comparazione degli effetti delle due procedure, sia i risultati che si potevano ottenere. Dopo alcuni mesi in cui gli utenti e gli "addetti ai lavori" sono rimasti quasi increduli di fronte all'inattesa novità, nell'autunno 2007 è letteralmente decollato quello che è lecito definire come il "mercato dell'efficienza energetica" (ossia: materiali edili, impianti di climatizzazione invernale, pannelli solari per la produzione di acqua calda sanitaria, includendo chiaramente anche manodopera e prestazioni professionali), facendo registrare un cospicuo numero di interventi.

Il primo ottimo risultato (106.000 pratiche totali nel 2007), inizialmente del tutto inatteso, si è rivelato del tutto compatibile con il successivo in-

Tabella 1 – Quadro sinottico relativo ai risultati ottenuti nell'anno fiscale 2007

| Dati 2007 | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Comma selezionato | Documentazioni pervenute | Risparmio conseguito (GWh/anno) | CO ₂ non emessa (kt/anno) | Spesa su cui calcolare il 55% comprensiva delle spese professionali (€) | Importo portato in detrazione (55% della spesa totale) (€) |
| Comma 344 | 3.180 | 68 | 14 | 136.000.000 | 74.800.000 |
| Comma 345 | 39.220 | 186 | 40 | 482.000.000 | 265.100.000 |
| Comma 346 | 20.140 | 93 | 20 | 139.000.000 | 76.450.000 |
| Comma 347 | 27.560 | 268 | 57 | 280.000.000 | 154.000.000 |
| Selezione multipla | 15.900 | 173 | 37 | 416.000.000 | 228.800.000 |
| Total | 106.000 | 788 | 167 | 1.453.000.000 | 799.150.000 |

Fonte: ENEA¹

Tabella 2 – Quadro sinottico relativo ai risultati ottenuti nell'anno fiscale 2008

| Dati 2008 | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Comma selezionato | Documentazioni pervenute | Risparmio conseguito (GWh/anno) | CO ₂ non emessa (kt/anno) | Spesa su cui calcolare il 55% comprensiva delle spese professionali (€) | Importo portato in detrazione (55% della spesa totale) (€) |
| Comma 344 | 5.700 | 163 | 35 | 177.000.000 | 97.350.000 |
| Comma 345 | 112.600 | 495 | 105 | 1.395.000.000 | 767.250.000 |
| Comma 346 | 37.100 | 288 | 61 | 258.000.000 | 141.900.000 |
| Comma 347 | 57.700 | 614 | 131 | 688.000.000 | 378.400.000 |
| Selezione multipla | 34.700 | 401 | 85 | 982.000.000 | 540.100.000 |
| Totale | 247.800 | 1.961 | 418 | 3.500.000.000 | 1.925.000.000 |

Fonte: ENEA¹

cremento registrato nella campagna del 2008: nel periodo compreso tra l'1 marzo 2008 e il 31 marzo 2009 è giunto ad ENEA un numero di pratiche pari ad oltre il doppio della campagna 2007.

Dalla semplice lettura dei dati quantitativi contenuti nelle *tabelle 1 e 2*, è lecito dedurre che il sistema incentivante così concepito abbia riscosso un enorme successo, al quale ha contribuito senza ombra di dubbio anche l'attività di formazione/informazione/assistenza svolta dal Gruppo di Lavoro "Efficienza Energetica" dell'ENEA.

Tra tutte le tipologie di intervento possibili nel 2008, quella maggiormente diffusa sul territorio nazio-

nale è stata la sostituzione di infissi, ai sensi del comma 345. Di contro, la tipologia di intervento meno diffusa è invece la riqualificazione globale dell'edificio ai sensi del comma 344, sicuramente a causa della maggiore complessità e onerosità. Va inoltre sottolineato come alle circa 248.000 pratiche sia associato un valore complessivo degli investimenti pari a circa 3.500 milioni di euro. A questo dato si ricollega un importo portato in detrazione complessivo pari a circa 1.925 milioni di euro. Certamente non trascurabile è anche il valore complessivo relativo alle spese professionali associate agli interventi di riqualificazione energe-

tica: il dato medio nazionale, infatti, dimostra come alle diverse tipologie di intervento sia associato un valore di spesa variabile tra 579 € (per interventi di sostituzione di infissi) e 1.502 € (per interventi di riqualificazione delle strutture opache orizzontali).

Sotto il profilo macroeconomico, non possono essere dimenticati i benefici indiretti ed indotti conseguenti la proroga del meccanismo fiscale del 55%: il significativo sviluppo della green economy e del mercato collegato ha infatti avuto come conseguenza diretta un aumento diretto di IRPEF e IRES dai suoi stessi operatori. Chiaramente, in questa stessa ottica, non può essere trascurata l'emersione del cosiddetto "lavoro nero", al quale necessariamente si associa anche un aumento rilevante di recupero dell'IVA. Conseguentemente alla messa in moto di masse monetarie importanti, è ipotizzabile anche la creazione di nuovi posti di lavoro nello specifico settore dell'efficienza energetica.

Da quanto precedentemente rilevato, non può che concludersi che le riqualificazioni energetiche dell'involucro edilizio non sono programmate – come riterremmo auspicabile – in funzione della loro efficacia sotto il profilo squisitamente tecnico ma, evidentemente, in funzione della

semplicità di esecuzione e del costo dell'intervento. In tale ottica, riteniamo che un ruolo non marginale possa essere stato svolto dalle semplificazioni amministrative introdotte in chiave procedurale: è giusto sottolineare che tali semplificazioni abbiano certamente contribuito nel secondo anno di attività ad una ulteriore diffusione del meccanismo fiscale stesso, ampliando decisamente la base dei cittadini che hanno potuto accedere. Venendo quindi a cadere i vincoli procedurali e conseguentemente a ridimensionarsi le spese tecniche associate, i provvedimenti adottati hanno chiaramente fornito ai cittadini un significativo stimolo per investire sugli interventi tecnicamente più semplici, come evidente dai dati sulla distribuzione quantitativa degli interventi. Le sostituzioni dei sistemi telaio-infissi, in particolare, proprio in funzione dell'enorme successo rilevato, rappresentano forse uno dei temi più interessanti dell'intera campagna e una grande potenzialità in termini di risparmio in energia primaria, in funzione del successo numerico riscontrato. Riteniamo che questa considerazione possa assumere grande valenza, anche e soprattutto in funzione delle future scelte relative ad una possibile proroga di questo specifico sistema incentivante.

riflettore su

Trasferimento tecnologico e competitività nel sistema agro-alimentare: l'esperienza dell'ENEA

Gaetano Coletta*
Lorenza Daroda**
Daniela Palma*
Ombretta Presenti**

* ENEA, Unità Tecnica Trasferimento Tecnologico

** ENEA, Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agro-Industriale

L'analisi dell'attività di trasferimento tecnologico dell'ENEA nella filiera agro-alimentare evidenzia come il suo carattere strategico ai fini dello sviluppo della competitività nazionale si manifesti soprattutto nel sostegno alle imprese nello sforzo di diversificare la propria attività e nella capacità di saper integrare differenti tecnologie "abilitanti"

Technology Transfer and Competitiveness in the Agro-food sector: the ENEA Experience

The analysis of the ENEA technology transfer activities in the agro-food sector highlights how their prominent role in fostering Italy's competitiveness relies on support to business diversification strategies, through the integration of different general purpose technologies

L'industria alimentare e le nuove frontiere del consumo

Con oltre 890 miliardi di euro di fatturato, 260mila imprese e un milione e mezzo di occupati, il settore alimentare si conferma al primo posto dell'industria manifatturiera europea¹, divenendo oggetto di un rinnovato interesse da parte delle politiche comunitarie. La rilevante dimensione economica dell'industria alimentare in Europa si va infatti coniugando con un'offerta di beni sempre più diversificati e con caratteristiche di "tipicità" che si richiamano a tradizioni profondamente radicate a livello territoriale (European Commission, 2007). Il cambiamento in atto è indubbiamente significativo, ed è difficile negare che si tratti di una necessaria strategia di rinnovamento adottata in un settore da tempo costretto a confrontarsi con una domanda di mercato in progressiva saturazione. Ma considerare le caratteristiche assunte dall'industria alimentare in Europa, significa anche tornare a riflettere sulle trasformazioni che da sempre accompagnano lo sviluppo delle economie industrializzate e sul ruolo decisivo che in esse hanno svolto i processi d'innovazione tecnologica.

Gli esperti e gli operatori del settore alimentare ribadiscono oggi sempre più l'esistenza di uno stretto legame tra "valori" della tradizione alimentare e "principi" dell'innovazione di prodotto che a tali valori debbono ispirarsi. In particolare, si vuole sottolineare come siano proprio le caratteristiche che fanno del prodotto il suo essere tradizionale, a costituire una base non trascurabile dell'innovazione nell'industria alimentare. La logica su cui poggia il concetto di "innovazione di prodotto", sembra così essere contraddetta: il prodotto innovativo – si dice infatti – è tale in quanto diverso dai prodotti già esistenti e ne rappresenta in linea

di principio un avanzamento. In realtà, riesce facile dissipare l'apparente paradosso se solo si constata che i prodotti nuovi non sostituiscono semplicemente prodotti simili già esistenti, ma sono il segno più concreto della trasformazione qualitativa che accompagna lo sviluppo di un sistema economico. Questa trasformazione è intrinsecamente "storica", e in essa è preminente il ruolo che fattori di tipo socio-culturale esercitano sulle dinamiche dell'innovazione. La stessa storia della cultura è anzi "storia delle innovazioni: quali sono state proposte, quali hanno avuto fortuna e perché. La motivazione che conduce a creare o accettare un'innovazione è più o meno sempre la stessa: si osserva un bisogno e si cerca di andargli incontro" (Cavalli Sforza, 2004, p. 11). Ciò trova d'altronde piena realizzazione in tutte le fasi del processo di industrializzazione, fin dai tempi della prima rivoluzione industriale. Queste fasi sono per così dire scaturite dalla sintesi "felice" di nuove domande e tecnologie disponibili, lungo un percorso in cui di volta in volta si sono determinati i caratteri salienti dell'attività innovativa e gli stessi successivi sviluppi della tecnologia (Rosenberg, 1982; Maione, 2001; Addario, 2009). Ma ancor più essenziale è rilevare come, lungo questo percorso, sia andata mutando anche la forma del processo di innovazione. Come più volte sostenuto da Paolo Sylos Labini, diversamente dalle fasi originarie dello sviluppo industriale, nelle quali l'attività inventiva degli scienziati era il presupposto di una qualche "rivoluzione tecnologica", il progresso tecnologico si è man mano imposto in forme assai più composite (Sylos Labini, 1989). La possibilità di distinguere la natura "inventiva" del progresso dalla sua dimensione innovativa collegata al mercato, è divenuta sempre più sfumata, mentre si è andato estendendo il domi-

1. I dati riportati sull'industria alimentare (basati sulle *Structural business statistics* dell'Eurostat) sono relativi all'Unione Europea a 15 stati e si riferiscono al 2007, ad oggi anno più recente disponibile nelle statistiche internazionali. L'industria alimentare è identificata dal codice della classificazione delle attività economiche NACE Rev. 1.1 DA "Food, beverage and tobacco".

nio di una sofisticata progettazione tecnologica, supportata dalla disponibilità di una base ormai allargata di conoscenze scientifiche ed orientata a tradurre la complessità delle istanze derivanti da una nuova "domanda sociale".

Tornando all'industria alimentare, appare dunque rilevante valutare in che misura l'emersione e l'evoluzione di una domanda avanzata di prodotti alimentari, sempre più articolata, possa dar conto dei processi innovativi in atto. Il motto *from fork to farm* ("dalla tavola alla fattoria"), che sta ispirando in Europa le maggiori linee programmatiche di intervento indirizzate all'innovazione nel comparto alimentare, appare in un certo senso emblematico di tale questione. Ponendo all'origine delle strategie innovative la figura del consumatore, la moderna industria alimentare è chiamata infatti a perseguire obiettivi di salvaguardia della qualità e della sicurezza alimentari, con forte attenzione per le caratteristiche intrinseche dei cibi, ivi inclusa la "tipicità" della loro provenienza. La valenza "olistica" di questa "visione" è essenziale: la figura del consumatore non può essere semplicemente ricondotta alle categorie proprie di un'intelligente strategia di marketing, ma deve essere piuttosto letta entro la concezione più ampia di "mutamento strutturale" (in particolar modo qualitativo) del sistema economico nel corso del tempo.

È importante perciò comprendere come i nuovi ambiti della domanda "alimentare" abbiano sollecitato le diverse "soluzioni innovative" e quali siano stati, in linea di principio, i fattori che hanno maggiormente concorso a questo processo di interazione. La promozione in sede europea di un quadro ampio di azioni di stimolo all'innovazione nell'industria alimentare, è certamente tra i termini fondamentali di riferimento per questa analisi. Più in dettaglio, è necessario cogliere il senso delle specifiche pratiche di intervento adottate e, tra queste, di quelle che rimandano al "trasferimento" di competenze tecnologiche dal "mondo della ricerca" a quello dell'industria, considerato il grande spazio che tale approccio occupa nelle politiche europee per l'innovazione. Ma se si vuole evitare di incorrere nelle semplificazioni interpretative di cui l'azione di "trasferimento tecnologico" trop-

po spesso è stato oggetto, è necessario innanzitutto un preciso richiamo al contesto industriale in cui l'innovazione si realizza, passando così attraverso un esame preliminare delle caratteristiche di "sistema" dell'industria alimentare e della loro evoluzione più recente.

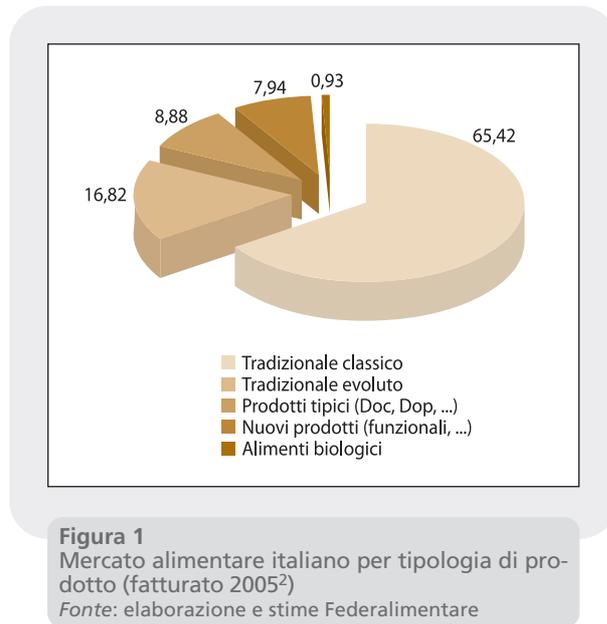
L'innovazione nell'agro-alimentare tra tradizione e paradigmi tecnologici emergenti

Nell'ambito della celebre tassonomia dovuta a Pavitt (1984), relativa alle forme che l'innovazione assume nei diversi settori economici, l'industria alimentare si colloca tra quelle aree produttive che maggiormente beneficiano degli avanzamenti tecnologici realizzati al loro esterno. A nulla, peraltro, sono valse a smentire questa classificazione, le riflessioni che nel corso di più di vent'anni hanno accompagnato il dibattito sulle questioni metodologiche in ordine a detta tassonomia. Quali che siano le considerazioni svolte, è netta la conclusione per cui l'industria alimentare non può essere inclusa nel novero dei settori che guidano l'evoluzione tecnologica del sistema produttivo (Esposti, 2009). Non è possibile, inoltre, mettere in discussione questa conclusione se si ricorre alle indicazioni fornite dall'intensità della spesa in Ricerca e Sviluppo in rapporto ai livelli di attività produttiva, essendo questa una classica misura con cui si suole discriminare la capacità di un settore di esser presente sulla frontiera tecnologica e su cui Pavitt stesso si appunta nell'individuare i settori a maggior potenziale innovativo, altrimenti detti *science-based*. Non meraviglia, dunque, che tutte le indagini condotte sull'innovazione nei settori produttivi, impostate sulla rilevazione di misure formalizzate dell'attività innovativa, nel caso dell'industria alimentare abbiano restituito il quadro di un settore arretrato. Questo rilievo è comune a tutti i paesi industrializzati ed appare indiscutibilmente enfatizzato dall'intensa crescita registrata dalle spese in Ricerca e Sviluppo e dall'attività di brevettazione, specie laddove più estesa è la rappresentatività dei settori *science-based*.

La realtà riflessa dalle statistiche sull'innovazione appare tuttavia contraddittoria rispetto allo straor-

dinario slancio innovativo che si osserva nell'industria alimentare nel corso dell'ultimo decennio e, conseguentemente, rispetto alla sempre più forte attenzione che in aree sviluppate come quella europea, come detto, si è riversata su tale industria al fine di tessere nuovi percorsi di competitività e crescita economica. In maniera alquanto provocatoria è stato fatto rilevare (Esposti, 2009) come il giudizio sull'innovatività dell'industria alimentare basato sugli indicatori di Ricerca e Sviluppo sia l'esito di una sorta di "illusione statistica". La grande varietà di sempre nuovi prodotti alimentari continuamente immessi sul mercato starebbe infatti a testimoniare la continua "rigenerazione" del settore che riesce così a reagire a una domanda che è non solo sempre più differenziata e segmentata, ma anche rispondente a mutamenti degli stili di vita nei paesi avanzati, tali da modificare il concetto stesso di alimento, allargandone la valenza alla sfera della salute e, più in generale, del benessere. Se si riesamina lo sviluppo dell'industria alimentare a partire dal secondo dopoguerra è possibile in effetti riscontrarvi un rispecchiamento della "migliore qualità della vita" collegata a trasformazioni sociali di straordinaria entità e profondità: l'avvento e la diffusione dei sistemi di welfare allarga lo stato di benessere a quote crescenti di popolazione (in senso non solo complessivo ma anche relativo, se si tiene conto della maggior partecipazione femminile al mondo del lavoro), mentre l'emergere di una nuova "domanda metropolitana" segna il passo della modernità. È quindi importante rimarcare come l'attuale fisionomia dell'industria alimentare prenda le mosse da mutamenti della qualità della domanda molto articolati oltre che estesi e tali, soprattutto, da ricondurre il miglioramento della qualità alimentare ad una dimensione ben più complessa di quella che poteva essere rilevata nei precedenti periodi storici. Il senso di questa trasformazione emerge però soprattutto da come si è andato evolvendo lo svi-

luppo di questa industria in rapporto ai settori a monte e a valle della produzione, vale a dire, rispettivamente, quello agricolo e quello del commercio e della distribuzione. Le trasformazioni registrate dall'intero sistema agro-alimentare ci mettono infatti nelle condizioni di apprezzare la dilatazione dello spazio del consumo secondo caratteristiche che riassumono in maniera composita tre fattori costitutivi della nuova qualità alimentare: la naturalità, rinvenibile in prodotti biologici e a denominazione d'origine o tipici; la funzionalità, relativa alla cura selettiva di principi nutritivi che fanno del cibo un supporto fondamentale al mantenimento dello stato di salute; la "convenienza", che traduce caratteristiche del prodotto funzionali ad esigenze pratiche del consumatore. Tali trasformazioni possono essere ben rappresentate da una ripartizione del fatturato per tipologia di prodotto, in cui i prodotti tradizionali classici (la pasta, le conserve, i formaggi, il vino, l'olio ecc.), pur costituendo ancora la quota maggioritaria, stan-



2. Il dato riportato è relativo all'Italia per il 2005, in quanto solo per quest'anno, e solo per l'Italia, è stata elaborata dal Centro Studi Federalimentare la stima della ripartizione del fatturato dell'industria alimentare per tipologia di prodotto in funzione di specifiche caratteristiche di innovatività. Ciò nonostante, il dato assume una significativa rilevanza in quanto si distingue dalle statistiche tradizionali, basate sulle classiche tipologie merceologiche (prodotti caseari, da forno, ...), che non consentono di cogliere il processo di rinnovamento in atto.

no lasciando gradualmente sempre più spazio al cosiddetto "tradizionale evoluto" (dove si alternano diverse forme di qualità e fruibilità del prodotto anche in relazione a modifiche che riguardano le modalità di confezionamento), ai "nuovi prodotti" (che presentano caratteristiche di "funzionalità" rispetto alla salute) e a quelli "tipici" e biologici (figura 1).

In definitiva, in una prima fase della sua evoluzione, l'industria alimentare ha, almeno per una parte significativa, accresciuto la distanza dal settore agricolo (allentando la dipendenza dagli input primari che questo le forniva attraverso una strategia di sostituzione con ingredienti ed additivi di natura chimica), mentre successivamente, e in misura crescente nell'ultimo decennio, essa ha attuato una riconversione alle origini affatto particolare (Goodman, 2002; Wilkinson, 2002). D'altra parte, occorre considerare che i legami tra i diversi ambiti della filiera alimentare sono cambiati soprattutto in ragione di un profondo mutamento qualitativo della produzione alimentare nel suo complesso, e che questi debbono essere analizzati in relazione alla capacità dell'innovazione tecnologica di dar forma a un vero e proprio *knowledge-based agro-system*, in cui appare sempre più difficile distinguere secondo concezione attività di produzione "a monte" e "a valle" (Goodman et. al 1987). Va da sé che l'ottica dell'analisi per settori, accentuando una rappresentazione della filiera per comparti stagni, non consente di cogliere la crescente integrazione del sistema agro-alimentare quale ci è restituita dalle nuove traiettorie innovative. Il processo di integrazione tecnologica amplifica, a sua volta, le distorsioni che le statistiche di settore ci rimandano quando si pretenda di misurare le caratteristiche di innovatività solo in base agli specifici indicatori della spesa in Ricerca e Sviluppo.

Ma se tutto questo è vero, è oltremodo necessario enucleare le principali direttrici lungo le quali l'innovazione tecnologica prende corpo nell'attuale sistema agro-alimentare, pena la rinuncia a coglie-

re l'innovatività del settore e mancare di riferimenti utili a comprendere il valore di qualsivoglia azione di sostegno all'innovazione nello stesso.

Il carattere multidimensionale che la nuova domanda alimentare assume in termini di opzioni di qualità del consumo, rappresenta certamente il punto di partenza delle strategie di innovazione. La base di sviluppo della nuova domanda alimentare è infatti costituita proprio dallo spazio che queste opzioni delimitano. La sfaccettatura di ogni nuova soluzione innovativa entro questo spazio, appare così interpretabile secondo una logica in base alla quale le esigenze del consumatore sono colte in modo flessibile, esprimendo di volta in volta un diverso profilo qualitativo della domanda (Esposti, 2009). Nello specifico, la possibilità di ottenere beni alimentari con tali caratteristiche innovative è consentita dalla capacità di realizzare la produzione secondo un principio di modularità, in cui si riassumono massima adattabilità del prodotto alle esigenze del consumatore (*customization*) e contenimento dei costi, così da riuscire ad intercettare mercati sempre più ampi.

La filosofia della modularità consente pertanto di considerare l'innovazione in uno spazio continuo di progettazione tecnologica. In questo processo è cruciale la capacità delle tecnologie disponibili di convergere su soluzioni innovative in risposta alle sollecitazioni che provengono dalla domanda. Sul fronte di questa convergenza sono del resto presenti "aree tecnologiche" vaste e con spiccate caratteristiche di versatilità che ne accentuano il valore *general purpose*³. Questa precisazione serve a chiarire la portata del potenziale innovativo che in tale contesto si può generare. Fenomeni di "convergenza tecnologica" hanno infatti sotteso lo sviluppo industriale fin dal suo nascere (Rosenberg, 1982), ma il connubio tra opportunità tecnologiche ed evoluzione della domanda si realizza oggi su ben maggiori dimensioni e qualità della tecnologia. Ciò lo si deve al concorso di più fronti tecnologici (in particolare biotecnologie, nanotecnolo-

3. Le *General Purpose Technologies* (dette anche tecnologie abilitanti o tecnologie orizzontali) sono tecnologie che trovano applicazione in molti settori dell'economia e della società. Le tecnologie abilitanti che caratterizzano il periodo attuale sono le tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT), le biotecnologie, le nanotecnologie e le neuroscienze.

gie e *information and communication technologies*) ognuno dei quali è di per sé rivoluzionario, ma tale al tempo stesso da non offrire un metro paradigmatico di sviluppo tecnologico. Ecco dunque che è la dimensione modulare a guadagnare preminenza nel processo innovativo, senza preclusioni di sorta su questo o quel tipo di tecnologia e, sotto quest'ultimo punto di vista, lasciando ampi margini di integrazione e di "fertilizzazione incrociata" tra tecnologie avanzate (tipicamente appartenenti ai fronti di cui si è detto) e tradizionali. Nel sistema agro-alimentare la dimensione modulare del processo di innovazione tecnologica è già fortemente presente, e possiede ottime prospettive di sviluppo grazie anche alla crescente domanda di miglioramento della qualità e della sicurezza alimentari. In questo senso non sembra riduttivo affermare che la sfida tecnologica del settore si misura nel perseguire questi due obiettivi e che una sua nuova affermazione competitiva dipenderà dal grado con cui le imprese che vi operano riusciranno progressivamente a realizzarli. Questo passaggio, che è poi quello decisivo rispetto all'azione di stimolo all'innovazione nell'agro-alimentare che ha preso piede in Europa, rimanda tuttavia ad un quesito fondamentale, in parte già sollevato nelle considerazioni svolte, ma che necessita

a questo punto di maggiore esplicitazione. In particolare è rilevante chiedersi quali siano le condizioni sotto le quali le competenze tecnologiche di un paese siano idonee ad innescare un circuito virtuoso di ricerca e innovazione tecnologica che sostenga lo sviluppo competitivo dell'agro-alimentare. In altri termini è necessario non correre il rischio di cedere all'"illusione statistica" della minore dimensione tecnologica che emana dal settore e riflettere, piuttosto, sul valore che nelle nuove dinamiche tecnologiche assumono i diversi sistemi nazionali d'innovazione.

Il trasferimento tecnologico nell'agro-alimentare: riflessioni sul suo ruolo strategico a partire dall'esperienza italiana dell'ENEA

Nell'ambito dell'industria alimentare europea l'Italia occupa un posto di assoluta preminenza, collocandosi terza dopo Francia e Germania. Ma ancor più importante è la posizione che tale industria detiene nel sistema manifatturiero del nostro paese, venendo al secondo posto dopo il settore metalmeccanico ed assumendo un ruolo trainante nell'economia meno sviluppata delle regioni del Mezzogiorno (figura 2). È quindi evidente che il

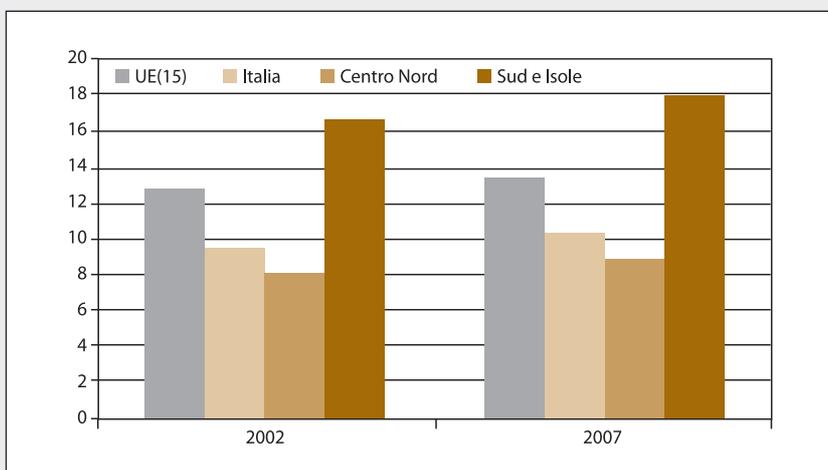


Figura 2

Quota percentuale degli occupati nell'industria degli alimenti, bevande e tabacco sul totale manifatturiero nel territorio dell'Italia e nell'UE(15)

Fonte: elaborazione ENEA su SBS Regional data EUROSTAT

processo di rilancio che sta investendo tutto il settore agro-alimentare in Europa richiama fortemente la possibilità di far recuperare alla produzione manifatturiera dell'Italia ampi e consistenti margini di competitività.

Come visto, l'azione di rinnovamento dell'intero sistema agro-alimentare da un lato consente di intercettare le domande emergenti che scaturiscono dalle modificazioni culturali e sociali in atto, e dall'altro si realizza attraverso un processo di innovazione che chiama in causa molteplici competenze tecnologiche articolandole in forma complessa. Questo sta a significare che lo sviluppo competitivo del settore contribuisce sia a superare i vincoli posti dalla saturazione della domanda, sia a rafforzare la base delle competenze tecnologiche nazionali.

In effetti, nel corso dell'ultimo trentennio, si è accresciuta la consapevolezza che i vantaggi derivanti dal possesso di competenze tecnologiche sono un importante tratto distintivo delle dinamiche competitive del mondo industrializzato, dipendendo la potenzialità di sviluppo dei paesi avanzati dalla capacità di innovare continuamente il proprio sistema produttivo. In tale contesto si è andato producendo un incessante rafforzamento dei legami tra ricerca scientifica e mondo della produzione, con un ruolo sempre più centrale dell'attività di trasferimento tecnologico dalle istituzioni che generano conoscenza (università e centri di ricerca pubblici) a quelle che la utilizzano economicamente (imprese). In particolare occorre sottolineare come l'accezione per cui l'attività di trasferimento tecnologico è relativa al rapporto tra istituzioni di ricerca e imprese, nasce proprio nell'ambito di questa nuova sensibilità per la competitività tecnologica. Fino agli anni 70, infatti, la maggior parte delle analisi negli studi economici si concentrava sul trasferimento tecnologico internazionale, tipicamente

dalle nazioni industrializzate a quelle meno sviluppate (Bozeman, 2000). Va da sé pertanto, che la valutazione dell'attività di trasferimento tecnologico nella sua accezione attuale rappresenta una lente privilegiata di lettura dei meccanismi che regolano lo sviluppo della competitività dei paesi avanzati.

A livello europeo, dove il ritardo tecnologico accumulatosi nei confronti di Stati Uniti e Giappone è emerso come particolarmente gravoso, decisivo è stato il varo nel 2000 della strategia di Lisbona⁴ e centrale è divenuto l'obiettivo di *"sostenere la cooperazione tra università, industrie, centri di ricerca e enti pubblici"* per *"rafforzare la competitività dell'UE nei settori scientifici e tecnologici"*⁵, dando sempre maggiore impulso ad attività di trasferimento tecnologico.

Le modalità con cui la strategia di Lisbona viene attuata debbono essere naturalmente ricondotte all'interno delle singole realtà nazionali. In Italia il perseguimento degli obiettivi della strategia di Lisbona appare attualmente sottolineato con forza dall'attività dell'ENEA che, nelle more del suo recente mandato di "Agenzia", promuove e sviluppa tutta una serie di azioni tese al trasferimento di competenze tecnologiche all'industria, rivolgendo una particolare attenzione al sistema delle PMI (piccole medie imprese) che della manifattura nazionale costituisce la struttura portante. Nell'attività di trasferimento tecnologico l'ENEA vanta d'altra parte una lunga e consolidata esperienza, e l'impegno profuso in tal senso nel settore agro-alimentare è indubbiamente tra i più significativi. Ma perché sia possibile inquadrare e valutare il ruolo che tale impegno riveste per lo sviluppo della competitività nazionale, è innanzitutto necessario riflettere su che cosa attenga alla natura dell'attività di trasferimento tecnologico. Va subito chiarito, infatti, che, sebbene la Commissione Europea⁶ distingua il "trasferimento di cono-

4. Programma di riforme economiche approvato a Lisbona dai Capi di Stato e di Governo dell'Unione Europea nel marzo 2000, finalizzato a rendere l'Unione Europea "l'economia più competitiva del mondo". La costruzione di una "società della conoscenza" e la promozione di una crescita basata sullo sviluppo della conoscenza e dell'innovazione sono i pilastri su cui è stata rilanciata la strategia di Lisbona nel 2005.

5. Cfr. http://europa.eu/legislation_summaries/research_innovation/general_framework/i23026_it.htm.

6. http://ec.europa.eu/enterprise/glossary/index_en.htm

scienza"⁷ (*knowledge transfer*) dal "trasferimento della tecnologia"⁸ (*technology transfer*), considerando il primo concetto più ampio del secondo, il problema analitico costituito da tale differenza si risolve qualora si consideri come i due concetti di conoscenza e tecnologia non siano fra loro separabili (Bozeman, 2000). L'applicazione pratica della conoscenza (ovvero la tecnologia) non può avvenire senza le conoscenze su cui tale applicazione si basa. La tecnologia non è "scienza applicata", ma capacità di risolvere problemi complessi (Pavitt, 1998); inoltre, gran parte della tecnologia, oltre ad essere specifica e complessa, è anche cumulativa nel suo sviluppo, nel senso che la conoscenza alla sua base è accumulata anche attraverso l'esperienza nella produzione e nell'impiego della tecnologia stessa (Pavitt, 1987). Il rapporto fra la tecnologia e la conoscenza scientifica non è quindi di subordinazione, ma di complementarietà (Dosi et al. 2005). Le attività di trasferimento tecnologico sviluppate dall'ENEA nella filiera agro-alimentare debbono essere intese, dunque, sulla base di questa impostazione. L'adesione alla Piattaforma Tecnologica *Food for Life* (Box 1) consente innanzitutto all'ENEA di partecipare ai processi di definizione delle priorità di ricerca e sviluppo in Italia e in Europa. La base ispiratrice della piattaforma risiede, infatti, nell'idea che "solo una ricerca orientata strategicamente sulle scienze della nutrizione e sulle tecnologie alimentari potrà condurre allo sviluppo di nuovi prodotti e, quindi, ad un vantaggio competitivo per le nostre imprese nel mondo"⁹. L'attività di trasferimento tecnologico si realizza poi secondo varie

modalità che vanno dalla pubblicazione di documenti, al trasferimento di diritti di utilizzo e commercializzazione delle innovazioni, e dalle collaborazioni di ricerca alla creazione di *spin-off*¹⁰. Si prenda il caso delle Società Consortili (Centri di Competenza Tecnologica) e/o dei Consorzi, delle Convenzioni Quadro e dei *Joint Lab* (ENEA, 2008): un esempio è al riguardo il "Consorzio per la creazione di Incubatori di imprese innovative Biotecnologiche" (In.Bio) che, attraverso la realizzazione di incubatori, si pone l'obiettivo di promuovere ed avviare nuove iniziative imprenditoriali innovative (*spin-off*) nel campo delle Biotecnologie col fine di promuoverne lo sviluppo (Box 2). Uno di questi incubatori è costituito dal Centro di Innovazione Integrato "Agrobiopolis" che, oltre ad ospitare società di *spin-off* e *start-up*¹¹, rappresenta anche un caso di "Polo Tecnologico" finalizzato allo sviluppo di tecnologie 'abilitanti' e di *know-how* di interesse industriale attraverso la realizzazione di iniziative di R&S congiunte pubblico-private. L'obiettivo di tali collaborazioni è quello di rispondere alle nuove esigenze del mercato favorendo l'ampliamento delle produzioni dell'industria agro-alimentare italiana, con una particolare attenzione proprio alle Regioni meridionali. Un obiettivo che viene perseguito puntando a garantire la qualità e le origini storiche e territoriali delle produzioni tipiche, di cui è ricco tutto il territorio italiano, e a favorire la transizione del concetto di alimento da semplice "nutriente" a quello più evoluto di "prodotto salutistico". Come detto, ciò richiede una convergenza di tecnologie diverse, rendendo necessario un approccio in cui si integrino compe-

7. La conoscenza è l'accumulazione strutturata di informazioni rilevanti ed utili, basate almeno in parte sull'esperienza. Il trasferimento di conoscenza è riferito anche alle informazioni scientifiche e alle competenze, codificabili o meno, che costituiscono la base delle applicazioni tecnologiche. Esso non include pertanto solo le attività commerciali, ma ne comprende anche altre, quali le collaborazioni di ricerca, i processi di mobilità dei ricercatori, la pubblicazione di documenti, la creazione di *spin-off*, e così via.

8. La tecnologia è per l'UE l'applicazione pratica della conoscenza. Il trasferimento tecnologico è il processo con cui si sviluppano applicazioni pratiche della ricerca scientifica e si realizza con il trasferimento dei diritti di utilizzo e commercializzazione di nuove scoperte ed invenzioni.

9. *Italian Food for Life* (2006), p. 2.

10. Uno *spin-off* è una nuova entità giuridico-economica (società di capitali o a responsabilità limitata) costituita ad opera di alcuni soggetti che abbandonano una precedente attività svolta all'interno di un'altra istituzione esistente (impresa, università o ente di ricerca).

11. Una *start up* è un'impresa appena costituita, ancora in fase di avviamento.

Box 1

European Technological Platform Food for Life

La Piattaforma Tecnologica Europea (ETP- European Technology Platform) "Food for Life Vision for 2020 and beyond", è stata lanciata a Brussels il 5 luglio 2005. L'inclusione di una ETP alimentare fra le 36 esistenti è giustificata, oltre che dalla dimensione, natura ed importanza locale della filiera agro-alimentare, dalle opportunità che la ricerca e l'innovazione in questo settore industriale offrono per accrescere il benessere e la sicurezza sanitaria in Europa. Una ETP è, infatti, un'iniziativa finalizzata pan-europea volta a rafforzare la capacità europea di organizzare e far nascere l'innovazione.



Italian Food for Life



La Piattaforma Tecnologica Nazionale *Italian Food for Life* – operativa dalla fine del 2006 – nasce come corrispettivo nazionale della Piattaforma Tecnologica Europea *Food for Life*.

Promossa da Federalimentare e dalla CRUI (Conferenza dei Rettori delle Università Italiane), insieme all'Università di Bologna, all'ENEA Biotech e a Tecnoalimenti – riunisce i principali attori della filiera agroalimentare, della ricerca e delle istituzioni, con l'obiettivo di aiutare le aziende alimentari del nostro Paese, soprattutto le PMI, a recuperare competitività attraverso l'innovazione dei prodotti e dei processi.

tenze tipicamente biotecnologiche con quelle provenienti da altri ambiti quali, ad esempio, le ICT (bioinformatica, *integrated supply chain*¹²), le scienze e tecnologie dei materiali (nuovi materiali per la *packaging*, per le tecnologie di processo, per il recupero dei sottoprodotti), le nanotecnologie (per il controllo di processo, per la tracciabilità, per la diagnostica), le tecnologie diagnostiche chimiche e fisiche (NMR – *Nuclear Magnetic Resonance* ecc.).

Quanto affermato ci porta a modificare profondamente la visione, per lo più diffusa, per cui il trasferimento tecnologico, soprattutto se rivolto alle PMI, sarebbe essenzialmente orientato ad accrescere la capacità di innovazione delle imprese agendo sulle inefficienze produttive che la loro dimensione (piccola o piccolissima) comporterebbe. È necessario invece tener conto del fatto che la dimensione delle imprese è un dato relativo alle caratteristiche tecnologiche e di mercato del

12. Dalla produzione delle materie prime alla distribuzione dei prodotti finali ai consumatori, ciascuna differente fase dell'intero processo produttivo è considerata come un anello di una catena, la catena di fornitura (*supply chain*). La nuova enfasi sulla qualità, sicurezza, funzionalità e sostenibilità, che caratterizza il settore agro-alimentare, pone in particolare una nuova domanda per lo sviluppo e l'adozione di catene di fornitura tracciabili, e i progressi nelle ICT forniscono un'importante opportunità per lo sviluppo di innovazioni tecnologiche dedicate alla tracciabilità.

Box 2

Consorzio per la Creazione di incubatori di Imprese innovative Biotecnologiche - In.BIO



Il "Consorzio per la creazione di Incubatori di imprese innovative Biotecnologiche – In.Bio" è nato per l'attuazione del Progetto "Creazione di incubatori di impresa innovativa nel campo delle biotecnologie", finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico, con l'obiettivo principale di promuovere e avviare iniziative imprenditoriali innovative nel campo delle Biotecnologie mediante la realizzazione di due incubatori, localizzati in Basilicata (il Centro di Innovazione Integrato AGROBIOPOLIS del C.R. ENEA Trisaia) e in Abruzzo (il Consorzio di Ricerche Applicate alla Biotecnologia – CRAB – di Avezzano (AQ)). L'obiettivo è quello di divenire un importante punto di riferimento infrastrutturale, tecnico-scientifico ed organizzativo nell'offerta di servizi tecnologici avanzati e specialistici nei confronti delle imprese operanti nel settore agro-alimentare nelle fasi di costituzione ed avvio e poter, quindi, contribuire alla crescita complessiva di un settore produttivo *high-tech* di importanza strategica per la competitività dell'industria italiana. È previsto anche lo svolgimento di attività di formazione e di supporto tecnico-scientifico ai ricercatori per ciò che riguarda lo sviluppo delle nuove tecnologie e delle nuove idee progettuali.

Centro di Innovazione Integrato Agrobiopolis

Il Centro AGROBIOPOLIS, presso il C.R. Trisaia (MT) dell'ENEA, costituisce un Polo Tecnologico con valenza multidisciplinare, aperto alle collaborazioni con soggetti pubblici e privati. In particolare, anche attraverso l'offerta di servizi tecnologici avanzati e specialistici, il Centro favorisce al suo interno la presenza di laboratori di R&ST di imprese e l'ospitalità di società di *spin-off* e *start-up*. Il Centro è articolato in tre aree funzionali comprendenti:

- il **complesso impiantistico multifunzionale**, in grado di configurare processi diversificati nel settore agro-alimentare e, più in generale, nell'ambito dell'utilizzazione industriale delle biotecnologie;
- i **laboratori specialistici**, in grado di elevare la capacità di ricerca ed innovazione del centro, in settori e discipline coerenti con le specializzazioni produttive esistenti nelle regioni meridionali;
- il **DemoCenter**, l'area dedicata principalmente alla diffusione e al trasferimento dell'innovazione ed all'offerta di servizi avanzati.



riflettore su

settore di riferimento e che per questo non è in assoluto un ostacolo per la loro capacità di innovare e competere.

Il carattere strategico del trasferimento tecnologico si appunta invece laddove è necessaria una differenziazione delle attività delle imprese. In al-

tri termini, esso è concepibile come innovazione volta alla creazione di nuovi mercati e/o segmenti di mercato o all'entrata su mercati emergenti, fondamentale, sia al livello delle singole imprese che a livello economico generale¹³, per superare i vincoli posti alla crescita economica dalla pro-

13. "In un mercato mondiale come quello di oggi, in cui dilagano i processi di saturazione rapida della domanda di ogni dato tipo di prodotto, cresce l'importanza dell'innovatività rispetto alla produttività nel determinare la competitività di ogni data fonte di offerta" (Becattini, 1999).

Box 3

TRUEFOOD - Traditional United Europe Food

Il progetto integrato TRUEFOOD ha puntato sulla qualità e la sicurezza alimentari, introducendo innovazioni nella produzione europea dei cibi tradizionali, attraverso attività di ricerca teorica e applicata e attività di formazione, informazione e trasferimento tecnologico. Per prodotti tradizionali non si intendono solo i cibi tipici, ma anche tutti i prodotti della tradizione culinaria locale. Il progetto ha voluto portare valore aggiunto sia ai consumatori che ai produttori, promuovendo *business plan* ad hoc per tutti i componenti della filiera alimentare, attraverso l'approccio "dalla tavola alla fattoria".

I principali obiettivi strategici sono stati pertanto:

- identificare e quantificare percezioni, aspettative e attitudini del consumatore, nei confronti di caratteristiche di qualità e di sicurezza nei cibi tradizionali e innovazioni che potrebbero essere introdotte nell'industria dei cibi tradizionali;
- identificare, valutare e trasferire alle industrie, le innovazioni che garantiscano la sicurezza alimentare, specialmente per ciò che concerne i rischi microbiologici e chimici;
- identificare, valutare e trasferire alle industrie le innovazioni che migliorino le caratteristiche nutrizionali del prodotto riconosciute come plus valore dai consumatori;
- sostenere lo sviluppo del *marketing* e della catena di distribuzione dei prodotti tradizionali;
- porre in essere un sistema di trasferimento tecnologico rivolto alle aziende di prodotti tradizionali, che sia efficace, sostenibile e focalizzato sulle innovazioni sviluppate all'interno del progetto TRUEFOOD o nell'ambito di altri progetti di Ricerca e Sviluppo europei e nazionali.

Me.Di.T.A. - Metodologie Diagnostiche e Tecnologiche Avanzate per la qualità e la sicurezza di prodotti alimentari del Mezzogiorno d'Italia

Il progetto Me.Di.T.A. ha inteso studiare, sperimentare e proporre al settore agroindustriale nuovi strumenti diagnostici e tecnologie avanzate ed innovative, per il controllo ed il raggiungimento di quei livelli di qualità e di sicurezza alimentari richiesti dalla normativa vigente, dal mercato e dal consumatore. Gli obiettivi rispondono ad esigenze reali del mercato e sono caratterizzati da un'elevata innovazione nelle strategie adottate, sia in termini di approccio originale alla risoluzione dei problemi che di scelte scientifiche identificate. Infatti, la validità industriale del progetto è riconosciuta nella confluenza di tutte le linee di ricerca in un obiettivo globale di incremento della competitività della filiera agro-alimentare, soprattutto meridionale, verso prodotti a più elevato valore aggiunto sul piano della qualità e della sicurezza alimentari.

Fra i risultati: metodologie e sistemi analitici *multiscreening* (*DNA-based* e *Protein-based*); nuovi sistemi di sterilizzazione e sanificazione del packaging alimentare e sistemi di igienizzazione degli ambienti di confezionamento; metodi di analisi della stabilità delle preferenze sensoriali e dell'effetto alle esposizioni ripetute ai prodotti in specifiche classi di età di consumatori.

VAL.GRA.SAR. - Valorizzazione del Grano Saraceno attraverso l'innovazione di processo (macinazione) e di prodotto (alimenti gluten-free e dietetico-funzionali)

Il Progetto si è posto la finalità di contribuire alla qualità ed alla competitività delle produzioni agricole nazionali attraverso la promozione del grano saraceno in località appenniniche. Gli obiettivi principali riguardano la realizzazione di una filiera "grano saraceno" ("dalla tavola alla fattoria") per l'ottenimento di ingredienti arricchiti in sostanze bioattive da utilizzare per la produzione di alimenti (pasta, prodotti da forno, alimenti per l'infanzia e miele) ad elevato valore aggiunto quali *gluten-free*, dietetici e funzionali. Tali alimenti trovano uno specifico impiego nel trattamento dietetico di patologie a grande incidenza nella popolazione occidentale e ad elevatissimo impatto sociale quali il diabete, l'ipertensione arteriosa, l'arteriosclerosi, l'ipercolesterolemia e la celiachia.

gressiva saturazione della domanda nei settori esistenti¹⁴.

Questo aspetto del trasferimento tecnologico e della sua capacità di attivare nel sistema delle PMI importanti processi di "rigenerazione" della produzione, agendo su specifiche parti della filiera dell'agro-alimentare, appare particolarmente esplicito ed evidente in una serie di singoli progetti in cui l'ENEA è stata coinvolta (Box 3). In particolare, l'attività del progetto TRUEFOOD (*Traditional United Europe Food*) si è focalizzata sulla diagnostica e sulla conservazione degli alimenti, fornendo soprattutto alle PMI gli strumenti per innovare i prodotti tradizionali, migliorandone la qualità, la sicurezza e le proprietà nutrizionali. Lo studio e la sperimentazione di nuovi strumenti diagnostici per il controllo ed il raggiungimento di alti livelli di qualità e di sicurezza alimentare sono stati fortemente presenti anche nel progetto Me.Di.T.A. (Metodologie Diagnostiche e Tecnologiche Avanzate), nel quale un obiettivo fondamentale è risultato essere quello di indurre uno spostamento dell'offerta delle imprese, soprattutto del Mezzogiorno italiano, verso prodotti a più elevato valore aggiunto. Il progetto Val.Gra.Sar. (Valorizzazione del Grano Saraceno), infine, ha mirato a realizzare prodotti per nuovi segmenti di mercato particolarmente vivaci, valorizzando una produzione tipica del territorio ed innovandone il processo di trasformazione. Il sempre più ampio riconoscimento dei problemi di allergia, intolleranza e, più in generale, delle malattie e disfunzioni legate all'alimentazione (Peta, 2006) ha generato, infatti, una interessante domanda per alcuni prodotti come, ad esempio, quelli *gluten-free* e dietetico-funzionali.

L'esperienza dell'ENEA nell'agro-alimentare conduce, allora, ad individuare il ruolo delle attività di trasferimento tecnologico per lo sviluppo della competitività nazionale soprattutto nel sostegno che questo fornisce alle imprese nei loro sforzi di

diversificare la propria attività, piuttosto che in quella di favorirne una maggiore efficienza produttiva. La concreta realizzazione del necessario processo di differenziazione, infatti, pone probabilmente maggiori ostacoli alle imprese, soprattutto alle PMI. Essa dipende, oltre che dall'esistenza di una qualche opportunità tecnologica e/o di domanda, dalla struttura e dalle caratteristiche tecnologiche che contraddistinguono i nuovi mercati o segmenti di mercato, anche in prospettiva. Da un punto di vista tecnologico, se si condivide l'ipotesi che la conoscenza utilizzata nei processi produttivi sia in gran parte specifica e quindi di non facile trasmissione e riproduzione, la scelta di diversificazione sarà significativamente correlata alla principale attività svolta nel passato. In altri termini, quello che le imprese *"possono realisticamente tentare di fare tecnicamente nel futuro è fortemente condizionato da quello che sono state in grado di fare tecnicamente nel passato"*¹⁵. E ciò rappresenta un ostacolo soprattutto nel caso in cui il processo di differenziazione implichi lo sfruttamento delle opportunità offerte dalla convergenza di tecnologie e competenze anche molto diverse fra loro.

Conclusioni

L'attività di trasferimento tecnologico dell'ENEA nel settore agro-alimentare ben si inserisce nel contesto della strategia europea finalizzata all'accrescimento della competitività dei paesi dell'Unione. La difficoltà con cui opera il "trasferimento della conoscenza" dai ricercatori (pubblici) al settore privato viene, infatti, considerata uno dei vincoli principali alla competitività dell'economia europea¹⁶; e i termini con cui si è dibattuto di tale difficoltà sono stati tali da arrivare a discutere di un "paradosso europeo" (CE, 1995; Debackere e Veugelers, 2005), consistente nella "inspiegabile" presenza di leadership in campo scien-

14. Per un approfondimento del ruolo della creazione di nuovi mercati per lo sviluppo economico cfr. Pasinetti (1981 e 1993), Gualerzi (2001, 2010) e Coletta (2008).

15. Pavitt (1984), p. 353.

16. Truefood (2009), p. 7.

tifico e fragilità competitiva del sistema produttivo. Tuttavia, e tanto più se la concezione di un "paradosso europeo" è il frutto di una diagnosi errata come una serie di evidenze sembrano far emergere (Dosi et al., 2005), una strategia a sostegno della competitività non può considerare il trasferimento tecnologico come l'unica o la principale chiave del processo innovativo.

Se si tiene adeguatamente conto del fatto che l'attività innovativa delle imprese in cui si rivela strategica l'azione di trasferimento tecnologico è anche quella relativa alla differenziazione delle attività, ovvero l'innovazione volta alla creazione di nuovi mercati e segmenti, emerge con forza la natura sistemica di tale processo e l'importanza per la sua efficacia, in primo luogo, della disponibilità di competenze tecnologiche multi-settoriali.

Un carattere distintivo dell'esperienza ENEA nelle attività di trasferimento tecnologico nell'agro-alimentare, come visto, è proprio quello di saper integrare i diversi approcci tecnico-scientifici presenti al suo interno, per giungere alla progettazione di soluzioni innovative "complesse" in risposta alla domanda espressa dal settore. Ma il presupposto perché quest'attività di trasferimento tecnologico continui al meglio a dare i suoi

frutti è che il patrimonio costituito dalle diverse competenze e specializzazioni scientifiche sia presidiato ed accresciuto nel tempo attraverso continui e consistenti investimenti nella ricerca di base. A dispetto della retorica sottostante il processo di estensione dei diritti di proprietà che ha caratterizzato gli ultimi decenni, tali investimenti non possono però essere affidati alle imprese private¹⁷, richiedendo piuttosto un convinto sostegno pubblico in funzione dell'utilità sociale che se ne può ricavare¹⁸.

L'altro aspetto che non può essere trascurato nella costruzione di una strategia di rilancio della competitività e che influisce in modo determinante sull'efficacia delle attività di trasferimento tecnologico¹⁹ è l'esistenza di un tessuto industriale in grado di cogliere e gestire lungo le dimensioni finanziaria e manageriale le opportunità che si manifestano. Questo è un punto d'attenzione per molti paesi dell'Unione, ma è particolarmente dolente per l'Italia²⁰, le cui imprese sono state scarsamente presenti nei settori più dinamici degli ultimi anni e nei rispettivi nuclei oligopolistici (Dosi et al., 2005; Ciriaci e Palma, 2008; Palma e Prezioso, 2010) e richiama la necessità di riconsiderare per il nostro paese i termini e le forme della politica industriale.

17. Negli Stati Uniti, nonostante le politiche introdotte a partire dagli anni 80 abbiano puntato a rafforzare i diritti di proprietà nel mondo della ricerca pubblica, l'incidenza dei fondi privati nella ricerca universitaria americana non è andata molto oltre il 7%, mantenendosi poi costante nel corso degli anni 90 (Mowery et al., 2001). Il punto è che in genere i ritorni dei fondi spesi nella ricerca di base hanno un orizzonte troppo lontano nel tempo per risultare attraenti a degli investitori privati (Rosenberg e Nelson, 1994), oltre a risultare fortemente incerti: *"la strada dalla scoperta all'applicazione è spesso lunga e tortuosa, implicando lo spostamento di conoscenze, tecniche e strumenti da una disciplina all'altra. Tutto ciò rende la previsione e la programmazione delle applicazioni della ricerca di base un compito difficile se non impossibile"* (Pavitt, 2001).

18. L'utilità sociale di una solida infrastruttura per la ricerca di base si manifesta sia nell'assimilare i risultati della ricerca svolta altrove (il prodotto della ricerca di base può avere le caratteristiche di un bene pubblico, ma non è un bene libero) che nella diretta risoluzione dei problemi tecnici posti dal sistema sociale e produttivo (Pavitt, 2001).

19. Una struttura industriale non equilibrata potrebbe rivelarsi un ostacolo insormontabile allo sfruttamento delle opportunità tecnologiche e di domanda che si creano in conseguenza della divisione del lavoro che in genere si determina fra le nuove piccole imprese e le grandi imprese affermate.

20. Per una panoramica sulla competitività tecnologica dell'Italia nei settori ad alta tecnologia si cfr. Ferrari, Guerrieri, Malerba, Mariotti e Palma (2007).

Bibliografia

- Addario N., 2009, *Sociologia dell'economia e dell'innovazione. Razionalità, istituzioni, cambiamento evolutivo*, Archetipolibri, Bologna.
- Becattini G., 2000, *Il distretto industriale: un nuovo modo di interpretare il cambiamento economico*, Rosenberg & Sellier, Torino.
- Bozeman B., 2000, "Technology transfer and public policy: a review of research and theory", *Research Policy* (29) 4-5 pp. 627-655.
- Cavalli Sforza L. L., 2004, *L'evoluzione della cultura*, Codice Edizioni, Torino.
- Ciriaci D. e Palma D., 2008, "The role of knowledge-based supply specialisation for competitiveness: A spatial econometric approach", *Papers in Regional Science*, 87(3): 453-476.
- Coletta G., 2008, *Struttura produttiva e crescita in Italia: un approccio di domanda multi-settoriale*, tesi di dottorato, DSE Università di Roma "La Sapienza".
- Debackere K. e Veugelers R., 2005, "The role of academic technology transfer organizations in improving industry science links", *Research Policy* (34) 3 pp. 321-342.
- Dosi G., Llerena P. e Sylos Labini M., 2005, "Science-Technology-Industry links and the 'European Paradox': some notes on the dynamics of scientific and technological research in Europe", *LEM Working Paper Series n. 2*.
- ENEA, 2008, *Il contributo alla ricerca del Dipartimento di Biotecnologie, Agroindustria e protezione della Salute: prospettive e impegni futuri. Edizione preliminare*, Roma.
- Esposti R., 2009, "Solving the controversy between functional and natural food: Is agri-food production becoming modular?" in Lindgreen A., Hingley M. K., Vanhamme J. (ed.), *The Crisis of Food Brands. Sustaining Safe, Innovative and Competitive Food Supply*, Gower Publishing.
- European Commission, 1995, *Green Paper on Innovation*, Bruxelles.
- European Commission – DG Research, 2007, *European Research on Traditional Foods*.
- Fagerberg J., 1988, "International competitiveness", *The Economic Journal*, 98 (June): 355-374, Blackwell.
- Fagerberg J., 1996, "Technology and competitiveness", *Oxford Review of Economic Policy*, 12(3): 39-51.
- Ferrari S., Guerrieri P., Malerba F., Mariotti S. e Palma D., 2007, *L'Italia nella competizione tecnologica internazionale. Quinto Rapporto*, Franco Angeli, Roma.
- Ginzburg A. e Bigarelli D., 2004, *I confini delle PMI. Strategie di superamento dei limiti dimensionali nel sistema produttivo reggiano*, API e Camera di Commercio, Reggio Emilia.
- Goodman D., Sorj B. e Wilkinson J., 1987, *From Farming to Biotechnology*, Blackwell, Oxford.
- Goodman D., 2002, "Rethinking food production-consumption: Integrative perspectives", *Sociologia Ruralis*, 42(4): 271-277.
- Gualerzi D., 2001, *Consumption and Growth. Recovery and Structural Change in the US Economy*, Edward Elgar, Cheltenham UK – Northampton MA USA.
- Gualerzi D., 2010, *The Coming of Age of Information Technologies and the Path of Transformational Growth*, Routledge, London.
- Italian Food for Life, 2006, *Nuovi cibi per nuove esigenze: uno sguardo sull'alimentazione del futuro*, comunicato stampa 5 luglio 2006.
- Maione G., 2001, *Le merci intelligenti*, Bruno Mondadori, Milano.
- Mowery D.C., Nelson R.R., Sampat B.N. e Ziedonis A.A., 2001, "The growth of patenting and licensing by U.S. universities: an assessment of the effects of the Bayh-Dole act of 1980", in *Research Policy*, (30) pp. 99-119.
- Palma D. e Prezioso S., 2010, "Progresso tecnico e dinamica del prodotto in una economia in ritardo", *Economia e Politica Industriale*, 1: 33-64.
- Pasinetti L.L., 1981, *Structural Change and Economic Growth: a Theoretical Essay on the Dynamics of the Wealth of Nations*, Cambridge, Cambridge University Press; versione it., *Dinamica strutturale e sviluppo economico: un'indagine teorica sui mutamenti della ricchezza delle nazioni*, Utet, Torino, 1984.
- Pasinetti L.L., 1993, *Dinamica economica strutturale. Un'indagine teorica sulle conseguenze economiche dell'apprendimento umano*, Il Mulino, Bologna.
- Pavitt K., 1984, "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory", in *Research Policy*, (13) pp. 343-373.
- Pavitt K., 1987, "The objectives of technology policy", *Science and Public Policy*, (14) pp. 182-188.
- Pavitt K., 1998, "The social shaping of the national science base", *Research Policy* (27) 8 pp. 793-805.
- Pavitt K., 2001, "Public policies to support basic research: what can the rest of the world learn from US theory and practice? (And what they should not learn)", *Industrial and Corporate Change* (10) 3 pp. 761-779.
- Peta E.A., 2006, *Consumi agro-alimentari in Italia e nuove tecnologie*, Unità di valutazione degli investimenti pubblici (UVAL).
- Pianta M., 2009, "The case for industrial and innovation policies", in European Trade Union Institute, *After the Crisis: Towards a Sustainable Growth Model*, Bruxelles.
- Rosenberg N., 1982, *Inside the Black Box: Technology and Economics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Rosenberg N. e Nelson R.R., 1994, "American universities and technical advance in industry", *Research Policy* (23) 3 pp. 323-348.
- Sylos Labini P., 1989, *Nuove tecnologie e disoccupazione*, Laterza, Bari.
- Truefood, 2009, *Guideline on Effective Knowledge and Technology Transfer Activities to SMEs in the Food Sector with Particular Focus on Traditional Food Manufacturers*.
- Wilkinson J., 2002, "The final foods industry and the changing face of the global agro-food system", *Sociologia Ruralis*, 42(4): 329-346.

Adsorbimento di coloranti industriali su chitosano

Loris Pietrelli

ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Ambientali

Il chitosano può essere utilizzato per il trattamento dei reflui dell'industria tessile al fine di recuperare l'acqua di processo. Durante le prove sperimentali condotte utilizzando i coloranti industriali più rappresentativi, sono state valutate la cinetica di adsorbimento, l'influenza del pH, della temperatura e della concentrazione di colorante. La rimozione del colore e del TOC è stata valutata su un refluo reale

Dyestuffs Adsorption on Chitosan

Dyes are widely used in industrial sectors such as textile, leather, plastics and paper to color the final products. In the dyeing processes 10-15% of all dyestuffs, corresponding to about 100 kg COD/ton of treated fiber material, is being lost into wastewater. In this study the ability of chitosan to remove acid, basic, reactive and direct dyestuffs by adsorption was studied to assess whether it is suitable for application in the field of textile wastewater treatment

Nel recupero e riciclaggio di acqua proveniente da reflui industriali trattati, il settore tessile riveste un notevole interesse visto il consumo che può arrivare, in alcuni casi, fino a 200 m³ d'acqua per tonnellata di fibra trattata. In particolare, durante le fasi di lavorazione, fino all'80% della risorsa idrica può essere utilizzata per operazioni secondarie quali il risciacquo delle apparecchiature, il lavaggio dei bagni di tintura e di finissaggio ecc. Per questi usi pertanto, sarebbe auspicabile l'impiego di acqua avente qualità inferiore, rispetto a quella impiegata per la preparazione dei bagni di tintura: ciò permetterebbe l'utilizzo di acqua riciclata nell'ambito dello stesso processo produttivo.

In genere, la depurazione dei reflui tessili risulta problematica in quanto sono presenti, oltre ai composti chimici utilizzati come additivi, intense colorazioni dovute all'impiego di coloranti perlopiù sintetici. I coloranti costituiscono infatti il principale fattore di impatto ambientale dei reflui tessili, visto che possono contenere quantità residue comprese tra 10 e 50 mg/l: tali valori vanno considerati molto alti perché una concentrazione corrisponde a 1 mg/l di colorante è già visibile ad occhio nudo^[1]. I coloranti industriali, inoltre, possono contenere metalli pesanti, quali Cr, Cu e Zn, spesso refrattari ai sistemi di trattamento biologici aerobici. Quando sono presenti nelle acque superficiali i coloranti possono generare fenomeni di bioaccumulo, ionizzazione, ossidazione chimica e microbiologica, con relativa formazione di numerosi derivati altrettanto inquinanti.

Tra i processi di trattamento chimico-fisici impiegati per la decolorazione, l'adsorbimento si è dimostrato molto efficace, ed attualmente il carbone attivo (CA) è il materiale adsorbente più comunemente impiegato per la rimozione di molteplici inquinanti in genere presenti nei reflui industriali. I costi elevati associati all'impiego del CA possono favorire in alcuni casi l'uso di materiali più economici quali torba, silice, *fly ash*, chitosano ecc., che

mostrano una efficacia di rimozione a volte paragonabile a quella dei CA^[2].

Il chitosano (*figura 1*) è un polimero naturale ottenuto industrialmente dalla deacetilazione della chitina, un polimero lineare dell'acetilamino-D-glucosio contenente gruppi funzionali amminici e ossidrilici, che rappresenta il secondo polimero più abbondante in natura dopo la cellulosa. Grazie alla notevole abbondanza della chitina (ad esempio contenuta nei gusci di crostacei provenienti dagli scarti delle industrie alimentari), il chitosano è un materiale piuttosto economico, non è tossico, è biocompatibile e biodegradabile e presenta anche proprietà antibatteriche^[3].

Tra le numerose applicazioni di questo polimero in campo medico, cosmetico ed alimentare, risulta di notevole interesse il suo impiego nell'ambito della depurazione delle acque, vista la sua capacità di rimuovere numerose sostanze inquinanti. In particolare il chitosano è stato sperimentato con successo nella rimozione dei coloranti^[4], dei metalli^[5] e delle proteine^[6], poiché i gruppi amminici e idrossilici presenti nel polimero funzionano rispettivamente come siti di coordinazione e come siti di attrazione elettrostatica per ioni e molecole. In particolare, grazie alla sua struttura mo-

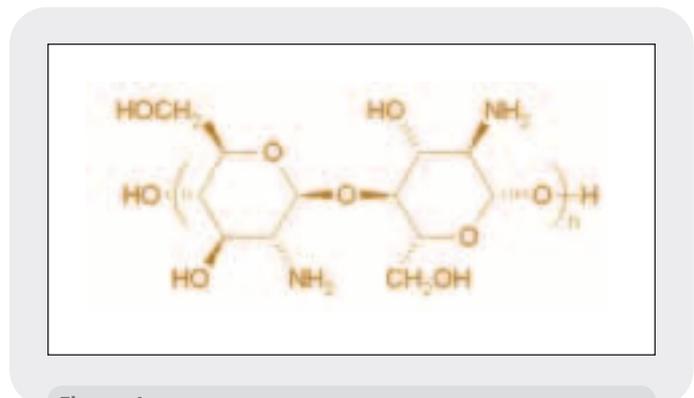


Figura 1
Chitosano proveniente da gusci di granchio
Fonte: ENEA

Tabella 1 – Coloranti industriali impiegati e lunghezza d'onda utilizzata per le analisi

| Classe | Nome commerciale e codice | ditta | fibra | λ_{max} (nm) |
|----------|---------------------------------|-----------------|------------|----------------------|
| Basico | Astrazon GTLN red | Dystar | Acrilico | 485 |
| Acido | Telon B red | Dystar | Poliammide | 493 |
| Reattivo | Remazol Gelb RR Granulat yellow | Dystar | Acrilico | 495 |
| Diretto | Scarlatto BNL red diretto | Chimica tessile | | 418 |

Fonte: ENEA

lecolare, il chitosano presenta un'alta affinità con varie classi di coloranti, risultando poco efficace solo con i coloranti basici^[3].

Per migliorare le sue capacità meccaniche, il materiale, solitamente in forma di flakes, può essere trattato con vari agenti leganti, come ad esempio la glutaraldeide, fino a ridurlo in forma di mem-

brane^[7] o di perle^[8,4] alterandone solo leggermente la capacità di adsorbimento dei metalli mentre, per i coloranti reattivi, si è potuta riscontrare perfino una capacità di adsorbimento maggiore per il polimero in forma *cross-linked*^[8].

Il chitosano può essere pertanto efficacemente impiegato per la rimozione di alcuni coloranti a costi

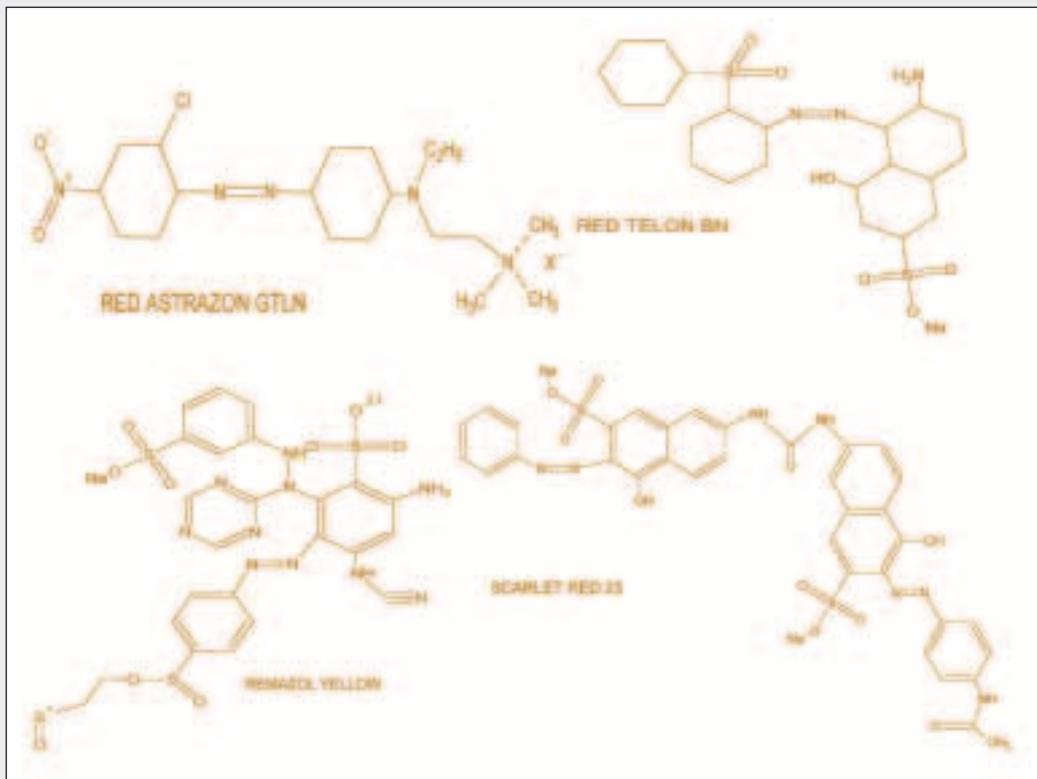


Figura 2
Formule di struttura dei coloranti industriali utilizzati
Fonte: ENEA

contenuti e lo scopo di questo lavoro è stato quello di caratterizzare ed ottimizzare il processo di rimozione di vari coloranti industriali presenti nei reflui acquosi. In particolare, sono stati utilizzati i coloranti industriali più rappresentativi: diretti, reattivi, acidi, basici, le cui formule di struttura e caratteristiche sono riportate in *tabella 1* e *figura 2*. Parametri quali temperatura, pH, tempi di rimozione, ingombro sterico, polarità e dimensione del colorante, sono considerati fondamentali per caratterizzare il processo di adsorbimento.

Cinetiche di Adsorbimento

L'andamento della concentrazione del colorante in soluzione, in funzione del tempo, per le quattro categorie di coloranti studiate è riportato in *figura 3*. I diversi tempi necessari per il raggiungimento dell'equilibrio probabilmente sono da mettere in relazione sia al meccanismo di adsorbimento che alle caratteristiche dei singoli coloranti. Osservando le curve infatti, si può ipotizzare un importante ruolo per il processo di diffusione che rallenterebbe l'adsorbimento, oltre alla repulsione del gruppo amminico protonato nei confronti, in

particolare, del rosso Astrazon che contiene un ammonio quaternario carico anch'esso positivamente. Pertanto, considerando le differenze evidenziate, sembrerebbe che la struttura molecolare del colorante svolga un ruolo determinante nell'adsorbimento su chitosano: il rosso Telon, infatti, che presenta una struttura chimica più compatta e meno carica, quindi più mobile, viene adsorbito in quantità maggiore e con tempi notevolmente inferiori rispetto agli altri che contengono più cariche elettrostatiche ed una componente alifatica maggiore che rallenterebbe il processo diffusivo.

Influenza del pH

Come illustrato nella *figura 4*, l'adsorbimento dei coloranti su chitosano, a temperatura costante, per bassi valori di pH in alcuni casi (rosso Astrazon e rosso diretto) si riduce, mentre a valori elevati di pH tutti i coloranti mostrano bassi valori di adsorbimento.

La protonazione dei gruppi amminici del chitosano a pH acidi sembra risultare il maggiore responsabile dell'adsorbimento di coloranti aventi cariche negative, quali ad esempio il giallo Remazol ed il ros-

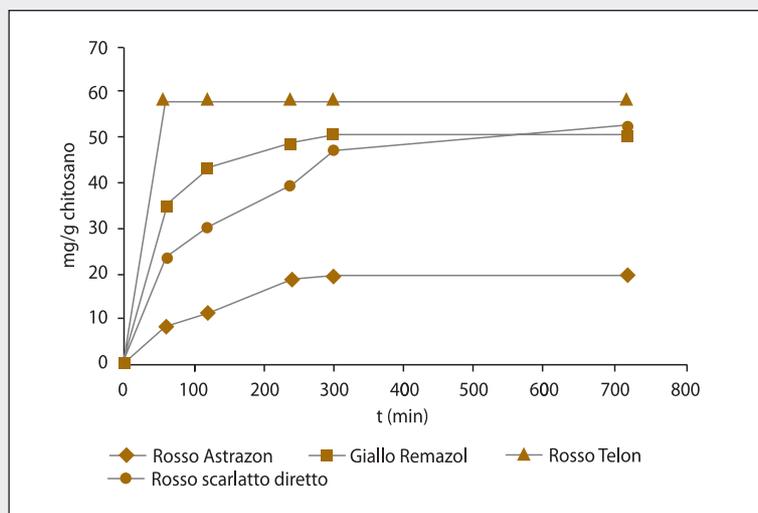


Figura 3
Cinetiche di adsorbimento di coloranti industriali su chitosano a T=20 °C
Fonte: ENEA

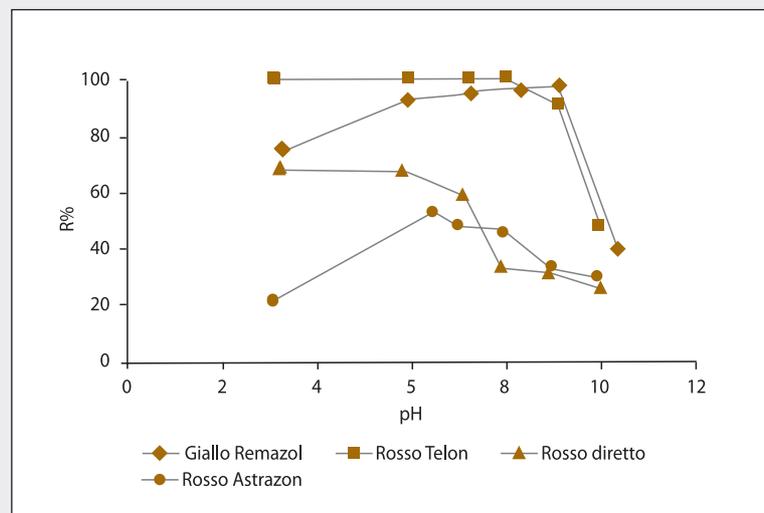


Figura 4
Influenza del pH sulla percentuale di rimozione del colorante. $C_{coi}=100$ mg/L, $T=20$ °C
Fonte: ENEA

so Telon, come si evince anche dalla letteratura per il chitosano in forma *cross linked*^[8] e per i metalli^[9]. Anche il fattore sterico potrebbe influenzare, essendo le molecole di questi coloranti piuttosto "ingombranti": in particolare il rosso Telon di struttura meno ramificata potrebbe migrare più facilmente verso i gruppi protonati, come si evidenzia anche dalla cinetica più veloce rispetto agli altri.

Per tutti i coloranti, il range ottimale di pH per la reazione di adsorbimento va oltre valori di $pH > 6$, a dimostrazione del fatto che il pK della reazione di protonazione del chitosano è elevato (7,7, secondo Muzzarelli 1977)^[10] e pertanto a questi valori di pH esisterebbero ancora molti gruppi protonati. Valori di $pH > 8$ potrebbero essere quindi impiegati per ottenere il desorbimento del colorante dal biopolimero.

Isoterme di Adsorbimento

I risultati delle prove *in batch* a temperatura costante, $pH=6$ e concentrazioni di colorante comprese tra 100 e 300 mg/l sono rappresentati nella figura 5.

Sono stati utilizzati due modelli di isoterme di adsorbimento:

$$\text{Langmuir: } \frac{x}{M} = \frac{ab \times C_{eq}}{1 + bC_{eq}}$$

$$\text{che linearizzata diventa: } \frac{1}{\left(\frac{x}{M}\right)} = \frac{1}{a} + \frac{1}{ab} \cdot \frac{1}{C_{eq}}$$

$$\text{Freundlich: } \frac{x}{M} = k \times C_{eq}^{1/n}$$

$$\text{che linearizzata diventa: } \ln\left(\frac{x}{M}\right) = \ln k + \frac{1}{n} \ln C_{eq}$$

dove: a rappresenta la massima quantità di sostanza che può essere adsorbita dall'unità di peso dell'adsorbente, b rappresenta la costante di equilibrio dell'adsorbimento mentre k e n sono parametri empirici relativi alla capacità di adsorbimento dell'adsorbente. È evidente che quanto maggiore è k , tanto maggiore sarà la capacità adsorbente del materiale. In tabella 2 sono riportati i valori dei parametri sperimentali ottenuti seguendo i due modelli di adsorbimento.

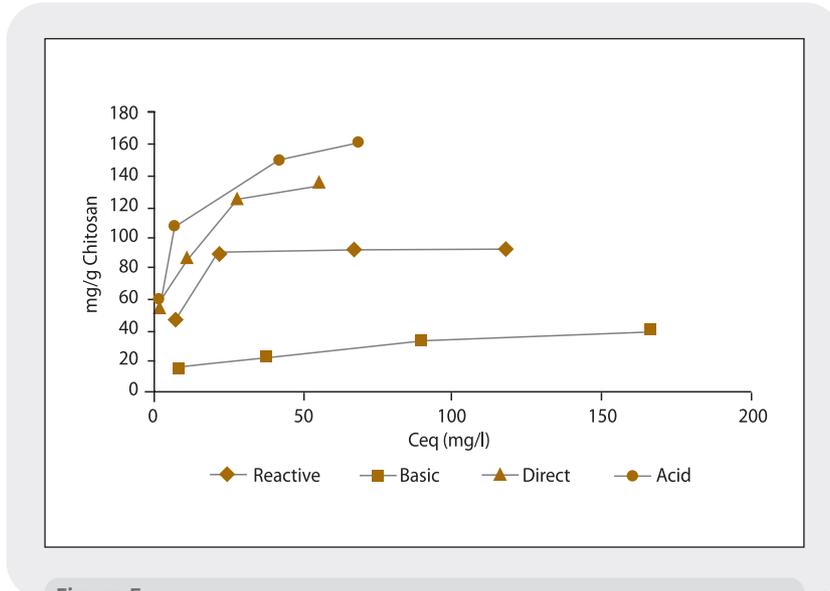


Figura 5
Isoterme di adsorbimento. V = 50 ml, chitosano = 100 mg, T = 20 °C
Fonte: ENEA

Tabella 2 – Parametri dei modelli di Langmuir e Freundlich per il chitosano

| Colorante | T (°C) | Langmuir | | | Freundlich | | |
|----------------|--------|----------|--------|----------------|------------|--------|----------------|
| | | 1/a | 1/ab | R ² | k | 1/n | R ² |
| Yellow Remazol | 20 | 0,0102 | 0,1346 | 0,9945 | 42,1401 | 0,3073 | 0,9925 |
| Telon Red | 20 | 0,0069 | 0,0104 | 0,9888 | 61,4793 | 0,2536 | 0,9613 |
| Astrazon Red | 20 | 0,017 | 0,9541 | 0,9958 | 3,4525 | 0,5073 | 0,9358 |
| Scarlatto Red | 20 | 0,0078 | 0,0161 | 0,8530 | 46,2333 | 0,3486 | 0,7056 |

Fonte: ENEA

Dai valori del coefficiente di correlazione R² è possibile osservare che nelle condizioni sperimentali riportate, i quattro coloranti presentano un comportamento piuttosto simile tra loro, sebbene il modello di Langmuir approssimi meglio il fenomeno dell'adsorbimento dei coloranti sul chitosano. Le capacità teoriche di adsorbimento ottenute secondo il modello di Langmuir sono risultate, inoltre, particolarmente elevate soprattutto per il Telon red (145 mg/g) e per lo Scarlatto red (128 mg/g).

Desorbimento

Sebbene il costo del chitosano sia decisamente ridotto, il desorbimento del colorante ne consentirebbe comunque un riutilizzo fino ad esaurimento. Pertanto, considerando che l'incremento del pH sfavorisce il processo di adsorbimento, i test di desorbimento del colorante sono stati eseguiti a pH basici: in queste condizioni, i gruppi amminici del chitosano vengono deprotonati con conseguente inibizione delle interazioni elettrostatiche,

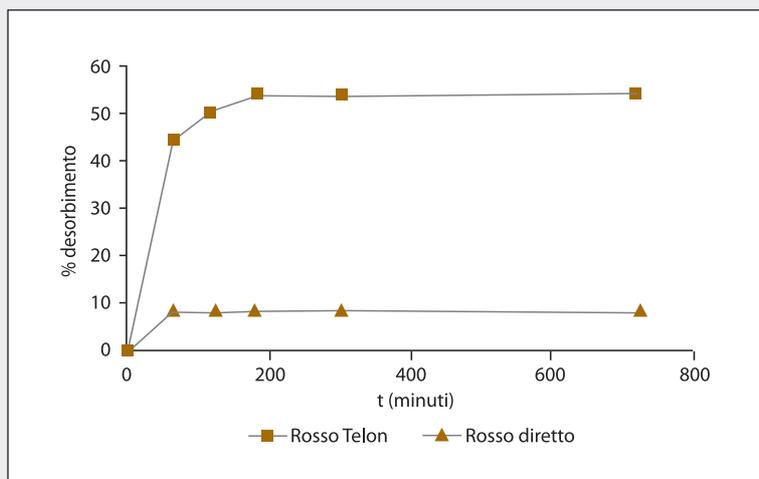


Figura 6
Desorbimento a pH=10 e T= 20 °C
Fonte: ENEA

maggiori artefici dell'adsorbimento delle molecole di colorante^[8].

Il rosso Telon si desorbe in quantità superiore rispetto al rosso diretto (figura 6), in quanto il minore ingombro sterico e la minore carica (SO_3^-) presente potrebbe favorire la migrazione verso l'esterno, così come favoriva la diffusione verso i gruppi amminici protonati.

Al contrario, la percentuale di desorbimento del rosso diretto è quasi trascurabile, non variando significativamente in campo alcalino le condizioni per favorire il meccanismo diffusivo.

Prove con il refluo reale

Il chitosano non è molto selettivo ed adsorbe in-

distintamente composti organici (grassi) ed inorganici (ioni metallici); ciò richiede pertanto una verifica della presenza di eventuali fenomeni di competizione con altri ioni/sostanze presenti in un refluo. Le prove di trattamento di un refluo industriale reale hanno evidenziato che sono necessarie 1,5 ore per ottenere buoni risultati (>90%) in termini di rimozione del colore, mentre la rimozione del TOC ancora dopo circa 4 ore risulta inferiore al 40% del valore iniziale (tabella 3). Considerando il confronto con le analisi spettrofotometriche, il 15% della frazione di TOC rimossa è dovuto alla decolorazione pressoché totale, mentre il restante TOC rimosso può essere attribuito agli ausiliari presenti quali ad esempio i tensioattivi.

Tabella 3 – Rimozione percentuale del colore e del TOC dal refluo reale (pH=8,06, TOC in=889 mg/l. Coloranti rosso Astrazon GTLN e yellow Remazol RR provenienti dal risciacquo di una fibra acrilica)

| Minuti | Colore | TOC |
|--------|--------|-------|
| 90 | 93.25 | 4.97 |
| 300 | 96.98 | 35.34 |

Fonte: ENEA

Conclusioni

Le prove di adsorbimento su chitosano in flakes hanno evidenziato un'elevata capacità adsorbente nei confronti di tutti i tipi di colorante, tranne che per i coloranti basici caratterizzati dalla presenza di sali di ammonio quaternario carichi positivamente.

La rimozione dei coloranti è influenzata dal tempo di contatto e soprattutto dal pH, a causa della protonazione del gruppo amminico, ed in particolare l'adsorbimento risulta maggiore a $\text{pH} < 8$. L'adsorbimento dei coloranti è ben approssimato dal modello teorico di Langmuir, dal quale si ricavano capacità di adsorbimento elevate.

Sebbene i tempi di contatto siano piuttosto elevati, il chitosano in flakes potrebbe essere applicato con successo, nel caso di reflui complessi, come post-trattamento, poiché consentirebbe di ot-

tenere un'ulteriore rimozione del COD e del colore, oppure come unico trattamento per reflui meno "carichi", come quelli ottenuti dopo le operazioni di lavaggio. La scelta del processo di trattamento di un reflu dipende, infatti, dalla sua complessità: reflui tessili provenienti da operazioni di lavaggio a fine macchina, contenenti soprattutto coloranti residui, possono essere trattati con una sola operazione unitaria (adsorbimento su chitosano, ossidazione chimica ecc). Reflui complessi, quali bagni esausti o effluenti misti, a causa dell'alto carico inquinante, necessitano invece di più operazioni primarie in serie.

Il costo contenuto, la facilità di gestione e le sue caratteristiche di biocompatibilità ne favoriscono comunque l'impiego, ed in particolare l'uso di chitosano *cross-linked* determinerebbe un sensibile miglioramento della resistenza meccanica del polimero, consentendone l'impiego in colonna.

Bibliografia

- [1] Laing I.G., *The impact of effluent regulations on the dyeing industry*. Review in progress Colouration, 12, 1991, 56-70.
- [2] Pavel J., Buchtová H., Rýznarová M., *Sorption of dyes from aqueous solution onto fly ash*. Water research, 37, 2003, 4938-4944.
- [3] Ravi Kumar M. N.V., *A review of chitin and chitosan applications*. Reactive and functional polymers, 46, 2000, 1-27.
- [4] Yoshida H., Okamoto A., Kataoka T., *Adsorption of acid dye on cross-linked chitosan fibers: equilibria*, Chemical engineering science. 48, 1993, 2267-2272.
- [5] Guibal E., Milot C., Tobin J. C., *Metal-anion sorption by chitosan beads: equilibrium and kinetic studies*. Ind. Eng. Chem. Res., 37, 1998, 1454-1463.
- [6] Zeng X.F., Ruckenstein E., *Cross-linked macroporous chitosan anion-exchange membranes protein separations*, J. Membr. Sci., 148, 1998, 195-205.
- [7] Pietrelli L. and Xingrong L., *Chitosan membrane: tool for Chromium (III) recovery from aqueous solutions*. Annali di chimica, 94, 2004, 389-398.
- [8] Chiou M.S., Li H.Y., *Adsorption behavior of reactive dye in aqueous solution on chemical cross-linked chitosan beads*. Chemosphere, 50, 2003, 1095-1105.
- [9] Wu F.C., Tseng R.L., Juang R.S., *Kinetic modelling of liquid-phase adsorption of reactive dyes and metal ions on chitosan*, Water research, 35, 2001, 613-618.
- [10] Muzzarelli M., *Chitin*, 1977 p. 184. Pergamon Press, Oxford.

CO₂ che produce molecole energetiche

Un team di ricerca dei Sandia National Laboratories ha creato un dispositivo in grado di utilizzare energia solare concentrata per trasformare la CO₂ in monossido di carbonio e produrre quindi biocarburanti o altri carburanti liquidi. Il prototipo sarà pienamente funzionante entro l'anno e si chiamerà Counter Rotating Ring Receiver Reactor Recuperator (abbreviato in CR5). Chimicamente il processo rompe il legame carbonio-ossigeno dell'anidride carbonica, ottenendo monossido di carbonio e ossigeno facilmente riducibili a gas sintetico (syngas). Il tutto utilizzando energia solare. La macchina si è

comportata come previsto al primo test, la sfida consiste ora nel migliorare l'efficienza del sistema, passaggio fondamentale per far uscire la scoperta dal laboratorio e cominciare a pensare al mercato, cui CR5 potrebbe arrivare tra una quindicina d'anni. Ottenuti i finanziamenti necessari per assicurare la prosecuzione della ricerca, l'obiettivo sarà di realizzare un nuovo prototipo ogni tre anni, in grado di mostrare sensibili incrementi di efficienza e decrementi di costi rispetto al precedente. CR5 è un cilindro metallico diviso in due camere, in grado di innescare delle reazioni termo-chimiche su una superficie di ossido di ferro. Quando l'ossido di ferro è esposto a temperature molto alte, s'innescano reazioni che portano alla liberazione di molecole di ossigeno, che vengono poi "riprese" quando il materiale si raffredda. I due processi avvengono in due camere separate e l'ossigeno recuperato è quello sottratto all'anidride carbonica contenuta in una delle due camere; in questo modo la CO₂ diventa CO (monossido di carbonio). Nella parte centrale del cilindro si trovano, in serie, 14 dischi di ossido di ferro che ruotano su loro stessi compiendo un giro al minuto. I ricercatori sono riusciti a concentrare i raggi del Sole per portare una delle camere a 1.500 gradi centigradi, in modo che la parte dei dischi che si trova in quell'area liberi le molecole di ossigeno. Ruotando, i dischi portano la loro "zona calda" nella camera opposta e il raffreddamento induce l'ossido di ferro a "rubare" molecole di ossigeno alla CO₂, lasciando nella camera il monossido di carbonio. Questo può essere poi combinato con l'idrogeno per produrre syngas, da usare come vettore energetico. Gli impianti di rigenerazione di questi combustibili potrebbero sorgere a ridosso di centrali ter-

miche tradizionali, ma anche d'impianti industriali produttori di CO₂. Il sistema, secondo i ricercatori, potrebbe essere un'alternativa al sequestro di CO₂ sotto terra: invece di pompare il gas sotto il suolo sarebbe così possibile usare il sole per ottenere una "combustione inversa" che trasforma l'anidride carbonica in molecole energetiche.

Fonte: Galileo net

Studio AIE sul consumo energetico dei dispositivi elettronici domestici

L'Agenzia Internazionale dell'Energia ha recentemente pubblicato *Gadgets and Gigawatts - Policies for Energy Efficient Electronics*, dedicato al peso crescente, in termini di consumo energetico, dei dispositivi elettronici domestici (gadget). A fine 2010 ci saranno nel mondo 3,5 miliardi di utenti di telefoni cellulari, 2 miliardi di TV e 1 miliardo di personal computer. I dispositivi elettronici fanno ormai parte della vita moderna e nelle case dei paesi più ricchi se ne possono contare dai 20 ai 30. Ma anche in Africa si stanno diffondendo, ad es. viene usato un telefonino ogni 9 persone. Cresce la popolarità dei gadget, ma anche la quota consumo energetico (elettrico) per alimentarli. Il volume IEA analizza i cambiamenti avvenuti nel consumo elettrico residenziale nell'ultimo decennio e nel ruolo giocato dai dispositivi elettronici in questo ambito. Sono passate in rassegna le politiche governative e la loro capacità di creare un mercato dei prodotti più efficienti dal punto di vista energetico e vengono segnalate le opportunità per realizzare case dai consumi ridotti e intelligenti.

dal Mondo

CO₂ che produce molecole energetiche

Studio AIE sul consumo energetico dei dispositivi elettronici domestici

Energia solare per le isole minori italiane: concorso di idee lanciato da Marevivo

“Energia solare per le isole minori italiane” è il tema di un concorso mirato a generare e a raccogliere idee e proposte su dispositivi, impianti o sistemi impiantistici innovativi, rivolti all'utilizzo dell'energia solare, applicabili al contesto delle isole minori italiane, in Comuni fino a 15.000 residenti. A lanciarlo è una larga intesa tra numerose istituzioni e l'associazione ambientalista Marevivo, che promuove il concorso stesso. Il concorso è sostenu-

to da CITERA (Centro di ricerca Interdisciplinare Territorio Edilizia Restauro Ambiente dell'Università di Roma La Sapienza), ENEA, GSE-Gestore Servizi Energetici, Ministero per i Beni e le Attività culturali (Direz. Gen. per la qualità e la tutela del paesaggio, l'architettura e l'arte contemporanea), e Ministero dell'Ambiente.

Tre le tipologie di progetti ammessi al concorso: un oggetto che produce energia solare; un elemento di un sistema (ad esempio una fotocellula); l'ideazione di un impianto che soddisfi la richiesta energetica di un'intera isola.

Vi possono partecipare studenti di architettura, ingegneria o industrial design, professionisti, industrie, società di progettazione. I risultati più aderenti all'obiettivo del bando serviranno a promuovere l'innovazione e il trasferimento di conoscenze, nonché lo sviluppo industriale di componenti idonei alla configurazione di nuove soluzioni compatibili. Infatti, ai premi in denaro (di entità non rilevante) per i primi e secondi classificati delle categorie studenti e professionisti, si aggiunge la possibilità, per i primi classificati tra gli studenti, di uno stage di 6 mesi presso il GSE a Roma, mentre l'ENEA valuterà la possibilità di ingegnerizzare presso i suoi laboratori di ricerca l'idea vincente. La Direzione PaBaac del Ministero dei Beni Culturali, inoltre, pubblicherà i progetti vincitori sul proprio sito web, quali esempi di buone pratiche.

È possibile partecipare al concorso inviando i progetti dal 13 aprile fino al 6 settembre prossimo, nelle modalità indicate nel bando disponibile sul sito www.marevivo.it e sui siti degli Enti che hanno sottoscritto il protocollo di intesa.

La premiazione dei progetti ri-

tenuti migliori si svolgerà il 16 ottobre a Capri, dove il progetto (realizzato con il contributo della Regione Campania e il sostegno dei Comuni di Capri e Anacapri) ha preso il via.

Fonte: marevivo.it

Produzione più economica dei biocarburanti

Nonostante abbiano registrato rapidi progressi negli ultimi anni, i biocarburanti ottenuti dalla cellulosa (ossia la cosiddetta “seconda generazione”) non sono ancora riusciti ad essere competitivi commercialmente, a causa dei costosi processi di produzione. Adesso, infatti, si procede alla produzione attraverso l'idrolisi enzimatica dei polisaccaridi, che ha bisogno di pre-trattamenti termochimici e meccanici in grado di incidere per più del 30% sul costo del biocarburante.

La rivista scientifica PNAS ha recentemente pubblicato uno studio che indica una via all'abbattimento di questi costi. Lo studio, effettuato da un gruppo di ricercatori del Dipartimento di Biologia vegetale dell'Università La Sapienza di Roma, esaminando le interazioni tra i microrganismi patogeni e le piante, afferma di aver compreso come modificare la struttura della parete cellulare vegetale in modo tale da rendere più semplice l'estrazione degli zuccheri. L'idea è stata quella di modificare la pectina come normalmente fanno i microrganismi che attaccano i tessuti vegetali, con il risultato di rendere le cellule più trattabili per la bioconversione industriale. Infatti, le pareti cellulari rappresentano il 70-80% delle cellule vegetali e sono in grado di fornire la quantità di zuccheri

dall'Italia

Energia solare per le isole minori italiane: concorso di idee lanciato da Marevivo

Produzione più economica dei biocarburanti

Padova: il fotovoltaico va a scuola

In costruzione ad Arezzo il primo idrogenodotto urbano

cronache

necessaria alla produzione di bioetanolo. Dal punto di vista strutturale la parete è composta da fibrille di cellulosa intrappolate in lunghe catene di polisaccaridi chiamate emicellulose che sono tenute insieme, a loro volta, da un altro polisaccaride, la pectina, che funziona da "collante", per mantenere molto compatta la parete. Proprio la compattezza della struttura rende difficile e dispendioso dal punto di vista economico l'ottenimento e l'estrazione degli zuccheri semplici da utilizzare per la fermentazione alcolica. Utilizzando due differenti approcci di tipo genetico – hanno spiegato i ricercatori romani – si ottengono piante maggiormente predisposte al processo di saccarificazione.

Il primo approccio è stato di tipo genetico: inserendo nelle cellule vegetali un gene espresso normalmente nei funghi, i ricercatori hanno potuto inibire attraverso di esso il processo che consente il legame pectina-emicellulosa. Il secondo metodo ha, invece, previsto la somministrazione alla pianta di una sostanza in grado di inibire la reazione chimica che porta al legame in precedenza citato. Risultati che, tradotti sul piano industriale, limiterebbero non poco i costi di lavorazione per la produzione biocarburanti.

Fonte: Università Sapienza di Roma, Dip. Biologia vegetale, prof. Cervone

Padova: il fotovoltaico va a scuola

Entro il 2010 in 20 istituti scolastici del Comune di Padova, dai nidi alle medie, verranno installati 29.000 m² di pannelli fotovoltaici che produrranno circa

500 kW di picco di energia. Il Comune sta realizzando il progetto definitivo delle installazioni con il quale potrà rivedere il contratto di efficienza energetica con ACEGAS-APS, che si farà carico dei lavori beneficiando però di incentivi statali e tenendosi l'energia prodotta.

Installare i pannelli fotovoltaici sui tetti degli edifici scolastici costerà ad ACEGAS-APS 2 milioni e 500 mila euro, ma l'operazione consentirà di usufruire di un 5% in più di incentivi statali da inserire in conto energia previsti per la realizzazione di impianti fotovoltaici su scuole e strutture ospedaliere.

In costruzione ad Arezzo il primo idrogenodotto urbano

Da una partnership pubblico-privato è sorto nella zona industriale di Arezzo il primo idrogenodotto sotterraneo al mondo in area urbana, per la cogenerazione di energia elettrica e calore per uso artigianale e domestico. Attraverso un percorso di 1.000 metri di tubazioni del diametro di 10 cm, che si snodano a una profondità di circa 1,2 m, fluirà idrogeno puro: ogni ora circa 16 m³ di gas a 3 atmosfere per un totale di 53.000 m³ all'anno, destinati alle aziende orafe di Arezzo, all'HydroLAB (laboratorio dimostrativo per l'idrogeno e le energie rinnovabili, equipaggiato con due celle a combustibile da 1 kW e un impianto fotovoltaico per la produzione di idrogeno rinnovabile tramite elettrolisi dell'acqua) e, prossimamente, anche alle abitazioni della zona di San Zeno. L'obiettivo del progetto "Idrogeno per Arezzo" è quello di aumentare il numero delle

aziende fornite e di arrivare ad erogare almeno 100.000 metri cubi. Sfruttando le peculiarità del distretto orafico di Arezzo (caratterizzato da oltre 700 operatori artigianali ed industriali che già nel passato utilizzavano l'idrogeno per i loro processi produttivi), si sono potute creare le migliori condizioni per sperimentare le potenzialità dell'idrogeno nella cogenerazione di energia elettrica e calore, sia per l'utenza domestica che quella artigianale. La prima fase del progetto risale all'aprile 2004 quando Regione Toscana, Provincia e Comune di Arezzo, Gruppo Sapio, Arcotronics Fuel Cells (oggi Exergy Fuel Cells) e Cooperativa del Sole hanno firmato l'"Accordo territoriale volontario inerente la realizzazione di un progetto dimostrativo sia per l'utilizzo industriale che come vettore energetico dell'idrogeno ad Arezzo in Località San Zeno. La Regione Toscana ha cofinanziato con un contributo di 400.000 euro sul totale di 1,2 milioni di euro. Il Comune ha messo a disposizione i terreni. La Fabbrica del Sole ha coordinato tutto il progetto e realizzato l'HydroLAB, il COIN-GAS (consorzio pubblico dei Comuni aretini per la distribuzione del gas metano) ha realizzato la tubazione, il Gruppo Sapio ha attuato il sistema di distribuzione dell'idrogeno mentre Arcotronics Fuel Cells ha fornito ed installato le celle a combustibile. Delle numerose condotte, esistenti al mondo per il trasporto dell'idrogeno gassoso, lunghe talora centinaia di km, nessuna è destinata alla distribuzione cittadina presso utenze disseminate. Il sistema di tubazioni consente di ottimizzare la logistica e garantisce al territorio sicurezza ed autosufficienza energetica.

Fonte: www.idrogenoarezzo.it

Progetto pilota in scuole medie di La Spezia per valorizzare le discipline scientifiche

Per arginare il calo delle immatricolazioni nelle facoltà tecnologico-scientifiche e creare nei giovani maggior interesse verso tali discipline, l'istituto secondario di primo grado "Mazzini" di La Spezia, la Confindustria spezzina e l'ENEA hanno promosso un progetto pilota rivolto a studenti del primo biennio di licei classici e scientifici e delle classi terminali della media inferiore, che ha come obiettivo primario quello di indirizzare gli studenti verso un

percorso di crescita culturale tecnico-scientifica. È stato individuato nella regione un Sito di Importanza Comunitaria (SIC), quello di Maralunga, come luogo ideale per intraprendere questo percorso di ricerca attraverso un'analisi biologica e geologica del sito (raccolta dati, classificazione di flora e fauna, riconoscimento delle rocce, valutazione dell'impatto antropico ecc.). Il progetto allarga le proprie finalità studiando e progettando sistemi di energia rinnovabile, capaci di autosostenere le strutture di proprietà della Marina Militare presenti all'interno del SIC. Iniziando con un audit energetico sulle strutture della Marina Militare, al fine di insegnare agli studenti le modalità di raccolta, analisi ed elaborazione di dati energetici, si proseguirà progettando interventi di razionalizzazione energetica sia elettrica che termica, utilizzando fonti rinnovabili (solare termico, eolico, fotovoltaico), integrato con le tecnologie più efficienti per l'illuminazione (led, sensori di presenza ecc.) e con una gestione intelligente ed energeticamente efficiente del sistema. Saranno coinvolti anche istituti tecnici e professionali (geometri, periti) con la simulazione di un progetto virtuale per la realizzazione di un porticciolo turistico che permetta agli studenti di acquisire esperienza nel progettare utilizzando tecniche, materiali e sistemi che minimizzano l'impatto della struttura sul territorio. All'attività didattica sono associate iniziative che prevedono uscite guidate presso distretti industriali e centri di ricerca. Al progetto, in specifiche fasi, partecipano ARPA Liguria per la fase naturalistica, ACAM di La Spezia per le fonti rinnovabili, svolgendo anche attività didattica direttamente sul terri-

torio provinciale con visite guidate a campi eolici e fotovoltaici. L'obiettivo, oltre a stimolare la curiosità dei ragazzi nelle materie scientifiche, è anche quello di avvicinare i ragazzi alla conoscenza dell'energia, di diffondere la cultura dell'efficienza energetica e di stimolare il lavoro in team tra gli studenti. Sarà infine realizzato un sito internet per rendere disponibili agli studenti delle scuole partecipanti al progetto le esperienze, i risultati conseguiti e le attività didattiche svolte. (Antonio Mori, Stefania Martini)

Visita in Italia della delegazione del GAO

Il 30 aprile si è svolto un incontro con una delegazione del Government Accountability Office (GAO) degli Stati Uniti sullo stato di attuazione degli accordi di cooperazione in materia di energia nucleare civile. Il GAO è un'agenzia indipendente che opera per il Congresso americano e che tra i suoi compiti annovera lo studio degli accordi esistenti tra gli Stati Uniti e le altre nazioni in materia di nucleare a scopi pacifici. La delegazione italiana era composta da rappresentanti del Min. degli Affari Esteri, del Min. dello Sviluppo Economico, del Min. dell'Interno, dell'ISPRA e dell'ENEA. L'incontro si è articolato in due fasi: una riunione presso il MAE nel corso della quale le istituzioni italiane hanno presentato le attività sulla gestione del materiale nucleare; una visita presso gli impianti nucleari del Centro ENEA Casaccia, orientato, in particolare sugli aspetti della *nuclear security*. Un rapporto relativo a tutti i Paesi visitati sarà presentato dalla GAO nei prossimi mesi. Fonte: RELINT

dall'ENEA

Progetto pilota in scuole medie di La Spezia per valorizzare le discipline scientifiche

Visita in Italia della delegazione del GAO

TERRA FUTURA, mostra convegno delle buone pratiche di sostenibilità

Dal 28 al 30 maggio si è svolta la settima edizione di Terra Futura, che ha registrato più di 92.000 visitatori.

A Terra Futura si è parlato di sviluppo sostenibile, biodiversità, cambiamenti climatici e del ruolo dell'agricoltura, di economia verde e *green washing*, responsabilità sociale d'impresa, coesione sociale, donne e sviluppo sostenibile, finanza pulita, azioni contro la povertà e l'esclusione, sfide del World Social Forum, accesso al

credito, azionariato critico, armi e finanza, pianificazione sostenibile delle nostre città, legalità e lotta alle mafie, web e democrazia.

Terra Futura per molte realtà è stata anche un'opportunità di *social* e *green business*: attraverso un calendario di 700 incontri *one to one*, la "Borsa delle imprese responsabili" ha messo in contatto 110 realtà (aziende, pubblica amministrazione, associazioni e cooperative) intervenute per concordare partnership, proporre i propri servizi e prodotti, cercare fornitori socialmente e ambientalmente responsabili.

Grazie a precise scelte e azioni responsabili, Terra Futura è stata laboratorio di sostenibilità essa stessa anche in quanto evento: carta certificata FSC per i materiali di comunicazione, gadget in plastica riciclata o materiali da recupero, ristorazione equosolidale e biologica, stoviglie biodegradabili, raccolta differenziata, mezzi di trasporto sostenibili, azzeramento delle emissioni di CO₂ ecc. Terra Futura è infatti "evento green di eccellenza", come conferma il Premio Greenmeeting ricevuto da *Italia For Events* (IFE).

Ufficio stampa Terra Futura:
ufficiostampa@ikonstudio.it

Le opportunità della ricerca industriale italiana nel settore dell'energia

Nell'ambito della Giornata AIRI (Associazione Italiana per la Ricerca Industriale) per l'innovazione industriale, tenutasi a Roma il 6 maggio scorso, sono state illustrate le opportunità della ricerca italiana nel setto-

re dell'energia. Sono state presentate le tecnologie che già nel medio-breve periodo troveranno applicazioni industriali e anticipate ricerche in grado, nel medio-lungo termine, di generare innovazioni significative che possono produrre discontinuità tecnologiche tali da trasformare il settore. In ambedue i casi, ha affermato il presidente AIRI Renato Ugo, occorre sostenere le ricerche da subito, con un quadro di riferimento di politica energetica chiaro e condiviso.

Aperti i lavori da Giovanni Lelli, Commissario ENEA, si sono alternate le presentazioni sulle nuove tecnologie e i materiali avanzati (ENEA, INSTM, CSM), sulle prospettive nel fotovoltaico (Eni, STMicroelectronics e CRP - Gruppo Fiat) e infine sulle evoluzioni nel campo dell'energia eolica e del mare (Enel).

A chiusura dei lavori è stato assegnato ad Eni il Premio "Oscar Masi 2009 per l'innovazione industriale" per la ricerca di tecnologie innovative nel campo delle energie rinnovabili e, in particolare, del fotovoltaico. Il progetto vincitore riguarda lo sviluppo di concentratori solari luminescenti che, sfruttando particolari convertitori di spettro, riescono ad abbattere di 4 volte il costo di produzione di energia solare e migliorano il rendimento delle celle fotovoltaiche sfruttando in modo ottimale lo spettro di luce.

L'invenzione permette di utilizzare ampie superfici di materiali a basso costo (le lastre fotoluminescenti) per concentrare la luce su piccole superfici di materiali di costo elevato (le celle solari). La produzione industriale di tale sistema fotovoltaico potrà offrire, secondo Eni, concrete prospettive applicative e importanti ricadute economiche.

Eventi

TERRA FUTURA, mostra convegno delle buone pratiche di sostenibilità

Le opportunità della
ricerca industriale
italiana nel settore
dell'energia