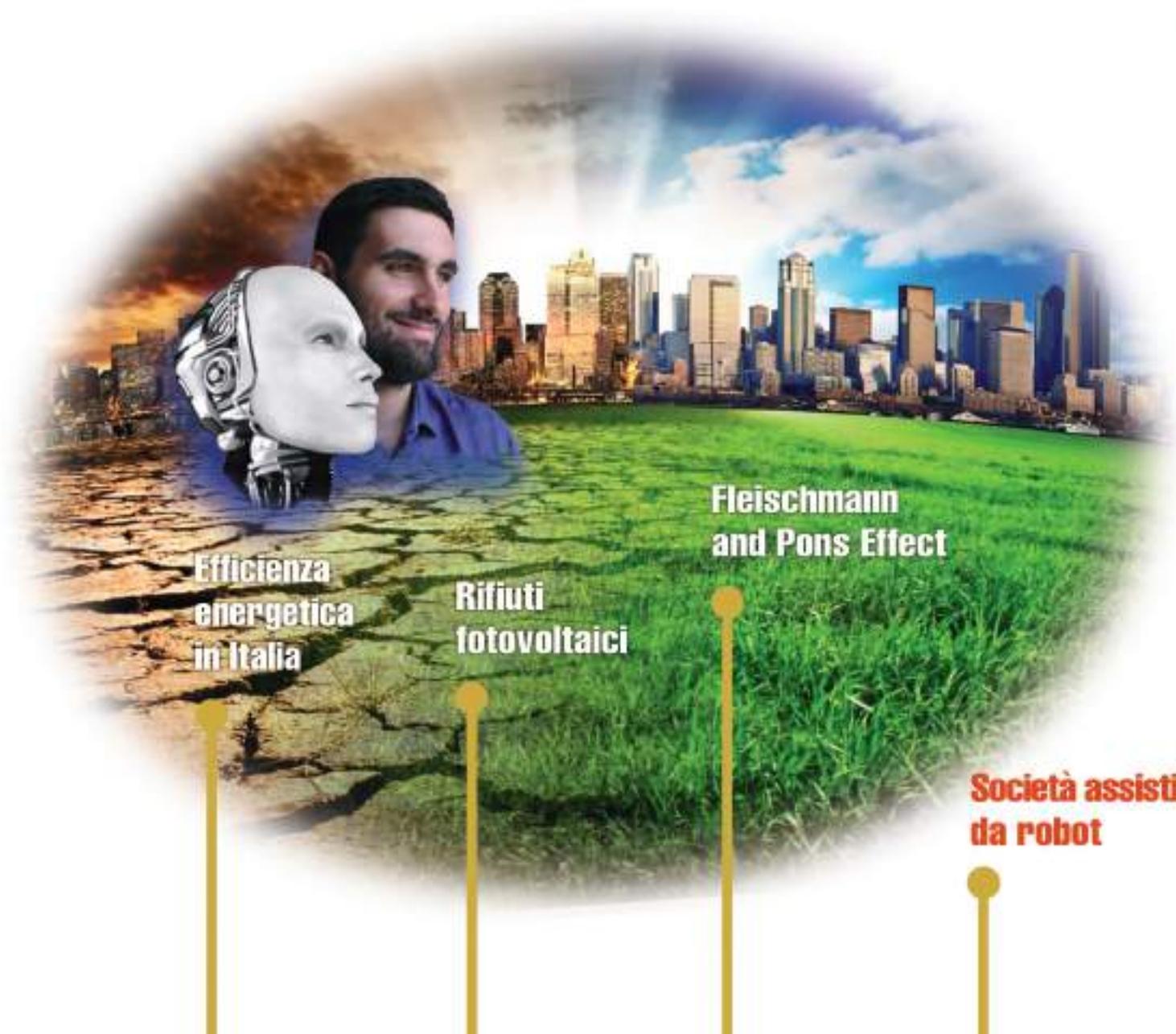




bimestrale dell'ENEA
anno 60
marzo - giugno 2014

Energia, Ambiente e Innovazione

2-3/2014



Efficienza
energetica
in Italia

Rifiuti
fotovoltaici

Fleischmann
and Pons Effect

Società assistita
da robot



Registrazione

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

Direttore Responsabile

Diana Savelli

Comitato di Direzione

Pietro Agostini, Vincenzo Artale, Giacobbe Braccio,
Marco Casagni, Gian Piero Celata, Vincenzo Cincotti,
Carlo Cremisini, Pierino De Felice, Roberta Delfanti, Nino
Di Franco, Francesco Di Mario, Roberta Fantoni, Elena
Fantuzzi, Massimo Forni, Massimo Iannetta, Riccardo
Levizzari, Carmela Marino, Paride Meloni, Silvio Migliori,
Roberto Morabito, Aldo Pizzuto, Vincenzo Porpiglia,
Sergio Sangiorgi, Massimo Sepielli, Leander Tapfer, Ezio
Terzini, Carlo Tricoli, Marco Vittori Antisari, Gabriele Zanini

Comitato tecnico-scientifico

Osvaldo Aronica, Ilaria Bertini, Paolo Clemente,
Paolo Di Lazzaro, Andrea Fidanza, Stefano Giammartini,
Giorgio Graditi, Massimo Maffucci, Laura Maria Padovani,
Paolo Ruti, Emilio Santoro

Coordinamento editoriale

Giuliano Ghisu

Collaboratori

Daniela Bertuzzi, Paola Carrabba, Orietta Casali,
Antonino Dattola, Barbara Di Giovanni

Revisione lingua inglese

Carla Costigliola

Progetto grafico

Paola Carabotta, Bruno Giovannetti

Edizione web

Antonella Andreini, Serena Lucibello, Concetta Manto

Promozione

Paola Crociani

Gli articoli riflettono le opinioni degli autori e non necessariamente quelle dell'ENEA

Per informazioni e contatti: infoeai@enea.it

Pre-stampa

FGE Srl - Fabiano Gruppo Editoriale
Regione Rivelte, 7/F - 14050 Moasca (AT)
e-mail: info@fgeditore.it

Stampa

Varigrafica Alto Lazio
Via Cassia, km 36,300 (Zona industriale) - 01036 Nepi (VT)

Finito di stampare nel luglio 2014



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifa certificata FSC

In primo piano

2 Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2012: overview

R. Romani, I. Bertini, A. Federici

Spazio aperto

SCOPERTE

12 Il più grande spettacolo dopo il big bang è l'inflazione cosmica

E. Santoro

STRATEGIE

16 Politiche della ricerca energetica in Italia

U. Farinelli

STRATEGIE

20 Nucleari e rinnovabili: mix integrato a livello europeo per garantire autosufficienza ed emissioni zero

M. Cappelli, A. Mathis

TECNOLOGIE

28 La ricerca europea nel settore degli impianti solari termodinamici a concentrazione

M. Falchetta

PROBLEMI APERTI

33 Impatto ambientale dei rifiuti fotovoltaici

M. Tammaro, A. Salluzzo, S. Manzo, C. Privato

METODOLOGIE

41 Modelli di conoscenza come catalizzatori di efficienza cognitiva e strumento di sviluppo di sistemi decisionali

G. Mappa, M. Casarici

BUONE PRASSI

49 Il ruolo strategico dei Piani Urbani della Mobilità Sostenibile in Europa e in Italia

S. Orchi, M.P. Valentini

RIFLESSIONI

56 Adattamento ai cambiamenti climatici: il ruolo trascurato degli ecosistemi

L. Ciccarese, S. Mandrone, P. Pellegrino, C. Vicini

Rd Research & development

63 RF detection and anomalous heat production during electrochemical loading of deuterium in palladium

V. Violante, E. Castagna, S. Lecci, G. Pagano, M. Sansovini, F. Sarto

78 Social Dependability: a proposed evolution for future Robotics

C. Moriconi, R. dell'Erba

86 Low-temperature studies of hydrocarbon synthesis

A. Pozio, M. De Francesco, S. Galli

93 Eco-Evo-Centrism: a new environmental philosophical approach

P. Pagano

Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica 2012: overview

DOI: 10.12910/EAI2014-51

Introduzione

Il terzo Rapporto Annuale sull'Efficienza Energetica (RAEE), relativo all'evoluzione della situazione italiana intercorsa nel 2012, restituisce l'immagine di un Paese che ha ben recepito gli indirizzi definiti dall'Unione Europea in tema di efficienza energetica, definendo efficaci strumenti che gli consentono di essere in linea con gli obiettivi quantitativi definiti nel Piano d'Azione nazionale per la Efficienza Energetica del 2011 (PAEE) e di guardare con fiducia all'ambizioso traguardo di riduzione dei consumi energetici posto dalla Strategia Energetica Nazionale (SEN) al 2020.

I risparmi energetici complessivi conseguiti al 2012, grazie agli interventi previsti dal Piano d'Azione, ammontano a oltre 73.000 GWh/anno, quasi il 30% in più rispetto al 2011.

La fotografia che emerge è quella di un'Italia che nel 2012 ha migliorato l'indice di efficienza energetica per l'intera economia di circa 1 punto percentuale rispetto all'anno precedente. I vari settori hanno contribuito in modo diverso al raggiungimento di questo risultato: negli ultimi anni, infatti, il residenziale e l'industria hanno mostrato significativi miglioramenti, mentre il settore trasporti ha avuto un andamento altalenante caratterizzato soltanto da una modesta variazione complessiva.

Il rapporto fornisce il quadro e l'evoluzione dello stato dell'efficienza energetica a livello nazionale e approfondisce i risultati delle politiche e delle misure per il miglioramento dell'efficienza negli usi finali

La fotografia che emerge è quella di un'Italia che nel 2012 ha migliorato l'indice di efficienza energetica per l'intera economia di circa 1 punto percentuale rispetto all'anno precedente. I vari settori hanno contribuito in modo diverso al raggiungimento di questo risultato: negli ultimi anni, infatti, il residenziale e l'industria hanno mostrato significativi miglioramenti, mentre il settore trasporti ha avuto un andamento altalenante caratterizzato soltanto da una modesta variazione complessiva.

Si conferma inoltre il buon posizionamento dell'Italia nel contesto europeo in termini di intensità energetica, con una performance di -19% rispetto alla media UE27 e di -14,3% rispetto alle media dell'Eurozona (riferimento al 2011, ultimo anno di disponibilità di dati). Rispetto ad altri paesi europei con simile sviluppo industriale, l'intensità energetica primaria dell'Italia risulta inferiore del 6,3% rispetto a quella della Germania e del 18,2% rispetto a quella della Francia, ma superiore rispetto a quella del Regno Unito (+14,6%).

Tali risultati non possono prescindere dal fatto che la costruzione e l'attuazione di politiche energetiche sostenibili necessitano di un'ampia comprensione e condivisione da parte di tutti gli attori coinvolti, anche al fine di generare cambiamenti comportamentali nell'uso dell'energia. In quest'ottica, il Rapporto ha aperto uno spazio di dialogo e di confronto con i principali stakeholder: un gruppo di lavoro composto da oltre 80 esperti chiamato a valutare l'evoluzione avvenuta in questi anni e a comprendere come andranno costruite le politiche energetiche del nostro futuro. Ciò rappresenta un passo di quell'indispensabile azione di sensibilizzazione sui temi del risparmio e dell'efficienza energetica attraverso la quale programmare percorsi informativi ed educativi mirati.

È infatti questa la chiave per raggiungere ulteriori e più ambiziosi risultati: soltanto una domanda sempre più consapevole e



competente potrà essere in grado di stimolare un'offerta sempre più innovativa.

Domanda e impieghi di energia

In linea con il trend negativo già osservato per il 2011, la domanda di energia primaria ha registrato nel 2012 una flessione del 4,3%, scivolando a quota 176,35 Mtep¹. Negli ultimi sedici anni si è notevolmente ridotto l'apporto del petrolio all'interno del mix energetico italiano, passando dai circa 95 Mtep osservati nel 1997 (oltre il 54% della domanda totale di allora) a circa 62,8 Mtep nel 2012, corrispondenti al 35,6% del totale: una riduzione di quasi venti punti percentuali compensata in particolare dal gas naturale e le fonti rinnovabili. Il contributo relativo del gas naturale è infatti cresciuto costantemente nel tempo passando dal 27,4% del 1997 al 34,8% del 2012; in termini assoluti, mentre nel 1997 il consumo di gas naturale era circa la metà di quello del petrolio (47,8 Mtep), nell'ultimo anno considerato i due valori sono di fatto allo stesso livello (61,4 Mtep). In costante ascesa anche la quota delle fonti rinnovabili che passa dal 6,6% del 1997 al 15,1% del 2012, sebbene in termini assoluti i valori siano più contenuti rispetto a petrolio e gas naturale: da circa 11,5 Mtep di inizio periodo a 26,6 Mtep nel 2012 (Figura 1.a). Gli impieghi finali di energia nel 2012 sono stati pari a 127,9 Mtep, con una riduzione del 5,5% rispetto al 2011, legata principalmente ai settori trasporti (-9,2%) e industria (-7,6%). Di fatto, i valori degli impieghi finali osservati nel 2012 sono tornati ai livelli registrati nel 1997: l'andamento crescente fino al 2005 (146,6 Mtep) è stato seguito infatti da una progressiva diminuzione, con un'unica eccezione nel 2010, anno in cui si è manifestato un effetto rimbalzo dopo la forte

contrazione del 2009. La ripartizione degli impieghi nel 2012 tra i diversi settori (Figura 1.b) mostra una forte incidenza di quello relativo agli usi civili, con una quota del 36,7% rispetto al 34,5% del 2011. Seguono il settore dei trasporti (30,2% contro 24,2%), l'industria (23,6% contro 24,2%), usi non energetici (5,1%, in particolare nell'industria petrolchimica),

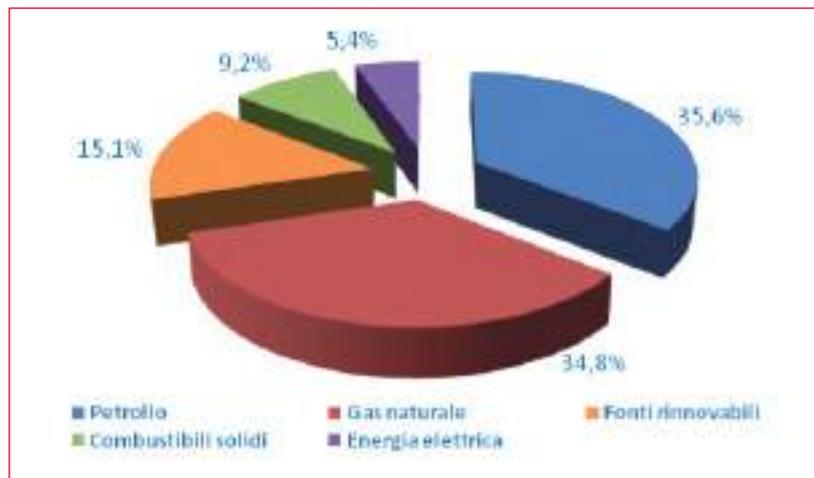


FIGURA 1A Distribuzione percentuale della domanda di energia (anno 2012)
Fonte: elaborazione ENEA su dati Ministero dello Sviluppo Economico

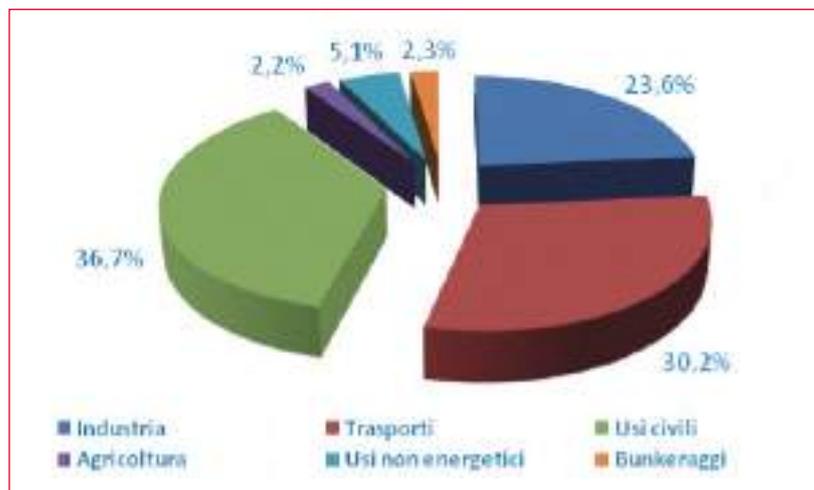


FIGURA 1B Distribuzione percentuale degli impieghi finali di energia (anno 2012)
Fonte: elaborazione ENEA su dati Ministero dello Sviluppo Economico

agricoltura (2,2%) e scorte di carburante per il trasporto marittimo internazionale (bunkeraggi: 2,3%).

Intensità ed efficienza energetica

L'intensità energetica primaria italiana del 2012 è stata pari a 126,96 tep/M€₂₀₀₅,



FIGURA 2 Intensità energetica primaria, PIL e consumo interno lordo di energia (anni 2000-2012)
Fonte: elaborazione ENEA su dati Ministero dello Sviluppo Economico e ISTAT

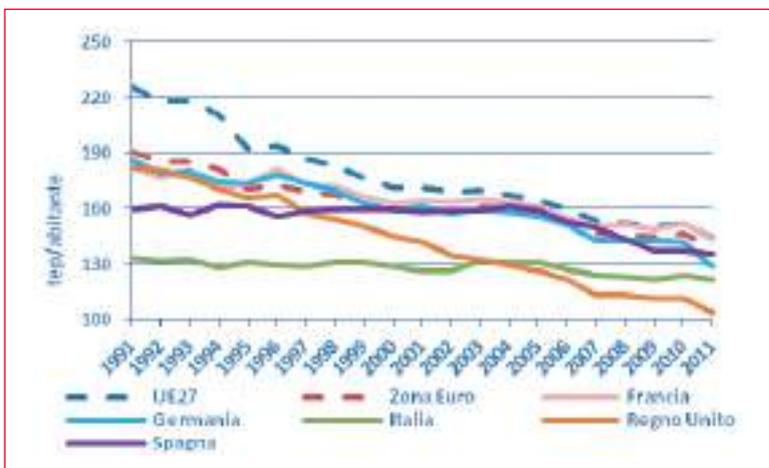


FIGURA 3A Intensità energetica primaria nell'UE27 (1991-2011)
Fonte: EUROSTAT

in calo dell'1,8% rispetto al valore osservato nel 2011, a fronte della netta contrazione del PIL del 2,5%. In particolare, rispetto al 2005, anno di introduzione del meccanismo dei Certificati Bianchi, l'intensità energetica è calata del 7,8% (Figura 2).

L'Italia presenta valori dell'intensità energetica primaria ben al di sotto della media dei 27 paesi UE, nonché di quelli appartenenti alla cosiddetta Eurozona (Figura 3.a). Per la valutazione complessiva dei miglioramenti di efficienza energetica nei diversi settori si è adottato l'indice di efficienza energetica ODEX (sviluppato nell'ambito del progetto europeo ODYSSEE-MURE); tale indice è in grado di valutare meglio il fenomeno rispetto all'intensità energetica in quanto è depurato dagli effetti di cambiamenti strutturali ed altri fattori non legati all'efficienza. Con riferimento all'anno 2011 il valore dell'indice relativo all'intera economia italiana è risultato pari a 86,1, che mostra un miglioramento dell'efficienza energetica di circa un punto percentuale rispetto al 2010 (Figura 3.b). La performance complessiva rispetto al 1990 è pertanto pari a -13,9%. I vari settori hanno contribuito in modo diverso al raggiungimento di questo risultato: il residenziale è quello che ha conseguito progressi regolari e costanti; l'industria ha avuto significativi miglioramenti solo negli ultimi anni; infine, l'andamento altalenante che ha caratterizzato il settore dei trasporti ha prodotto solo una modesta variazione.

Tecnologie e strumenti a livello settoriale

L'analisi settoriale ha evidenziato che incrementi di efficienza nel settore indu-



striale possono essere ottenuti attraverso il miglioramento dei servizi di stabilimento e del processo produttivo. I servizi di stabilimento comprendono tutte le impiantistiche di supporto al processo: quelle tipiche e sempre presenti in ogni contesto sono impianti di trasformazione e distribuzione dell'energia elettrica, di produzione e distribuzione di energia termica e frigorifera, di aria compressa, di illuminazione ecc. Gli interventi di risparmio energetico sui servizi di stabilimento sono tipici e non è stato complesso definire schede standardizzate per l'ottenimento di Certificati Bianchi, essendo le tipologie impiantistiche note e gli algoritmi di calcolo dei relativi risparmi derivabili con sufficiente precisione. Nell'area del processo produttivo è molto più difficile definire degli interventi tipo poiché, in pratica, i processi produttivi sono complessi, così come le relative impiantistiche e le corrispondenti modalità gestionali. È possibile individuare una standardizzazione di alcune tipologie di intervento nel caso di stabilimenti produttivi di alcuni settori quali: laterifici, cementifici o cartiere; d'altra parte le modalità produttive variano in modo sostanziale in altri settori come ad esempio nei settori della chimica e petrolchimica, della meccanica, della siderurgia/metallurgia o del tessile. Inoltre, non sono rare le innovazioni di processo, che determinano nuovi prodotti con ridotte richieste energetiche. Le tecnologie che nel settore residenziale e non residenziale possono apportare un significativo contributo alla riduzione dei consumi energetici riguardano in particolare: l'impiantistica ad alta efficienza (caldaie a condensazione, impianti di micro-cogenerazione, pompe di calore a compressione e ad assorbimento, sistemi integrati



FIGURA 3B Indice di efficienza energetica ODEX (1990-2011)
Fonte: ODYSSEE

con le fonti rinnovabili ecc.); materiali, dispositivi e prodotti per la riduzione delle dispersioni energetiche delle tubazioni degli impianti termici o per un miglior rendimento della diffusione finale del calore; materiali dedicati per l'isolamento termico degli edifici; laterizi innovativi, con caratteristiche di elevato isolamento termico; prodotti e sistemi per la riduzione delle dispersioni e degli assorbimenti di calore (quali ad esempio serramenti ad alte prestazioni termiche, vetri a controllo solare per la riduzione del fabbisogno di climatizzazione estiva, schermature solari esterne mobili). Inoltre, si vanno sempre più affermando tecnologie e sistemi innovativi quali i sistemi domotici, l'involucro attivo, il *solar cooling*, lo *smart building* e la cogenerazione.

Il miglioramento della prestazione estiva dei componenti opachi è sempre più spesso delegata al controllo solare, raggiungibile attraverso materiali ad elevata riflettanza solare, i cosiddetti *cool mate-*

rials, il cui utilizzo per le coperture e le facciate degli edifici limita l'apporto solare e quindi la richiesta energetica per il raffrescamento. L'utilizzo di materiali generalmente chiari consente di ridurre la potenza degli impianti di illuminazione esterna a parità di prestazione illuminotecnica e riveste quindi una notevole

importanza per l'efficienza energetica negli usi finali, in particolar modo quelli elettrici, legati alla riduzione dei regimi termici durante la stagione estiva. I *cool materials* trovano applicazione anche per le pavimentazioni di spazi urbani aperti con elevate potenzialità di risparmio ener-

getico conseguibili a scala urbana e di edificio. Per la *Pubblica Amministrazione*, è stato messo a punto il *Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi della Pubblica Amministrazione*, con l'obiettivo di diffondere presso gli enti pubblici la pratica di acquisti verdi (cosiddetto *Green Public Procurement*) con ridotto impatto ambientale. Ad esempio, per quanto riguarda l'illuminazione pub-

blica, i risparmi ottenibili dall'applicazione di tali buone pratiche in tutti i Comuni italiani con non più di 100.000 abitanti ammontano a circa 0,4 Mtep, cui corrispondono più di 1,3 milioni di tonnellate di CO₂ evitate.

Per il settore dei *trasporti*, la normativa europea relativa alle emissioni di anidride carbonica sempre più stringente (95 g/km di CO₂ al 2020) ha spinto la maggior parte dei costruttori di auto a inserire nella propria flotta anche modelli ibridi ed elettrici. Nel 2012 si è registrato un significativo segnale di crescita delle vendite di auto elettriche con un aumento di circa il 40% rispetto al 2011; anche per le auto ibride la crescita è stata consistente (+24%). Anche nel settore del trasporto collettivo sono sul mercato e si stanno diffondendo veicoli con tecnologie alternative: i bus alimentati elettricamente hanno consumi specifici alle ruote molto più bassi (circa un quarto) di quelli che montano motori a combustione interna (diesel o a metano). Il veicolo elettrico più piccolo sul mercato è la *bicicletta a pedalata assistita* (cosiddetta *Pedelec*), con un'autonomia che può raggiungere i 100 km. Da notare come nel

Le misure finora adottate hanno consentito un risparmio energetico complessivo pari al 58% dell'obiettivo nazionale previsto al 2016 dal Piano Nazionale per l'Efficienza Energetica (PAEE 2011)

Tipologia	Decreto Legislativo 192/05	Certificati Bianchi	Detrazioni fiscali del 55%	Ecoincentivi e Regolamento 443/2009	Risparmio conseguito* al 2012	Risparmio atteso al 2016	Obiettivo raggiunto (%)
Residenziale	24.450	15.237	8.246	-	44.109	60.027	73,5%
Terziario	728	1.278	214	-	2.220	24.590	9,0%
Industria	1.773	18.283	439	-	20.507	20.140	101,8%
Trasporti	-	-	-	6.443	6.443	21.783	29,6%
TOTALE	26.951	34.798	8.899	6.443	73.279	126.540	57,9%

* Al netto di duplicazioni e considerando nell'industria gli incentivi per motori e inverter erogati nel periodo 2007-2010, non inseriti in tabella per via dell'esiguo risparmio energetico conseguito

TABELLA 1 Risparmi energetici conseguiti al 2012 e attesi al 2016 (GWh/anno)
Fonte: elaborazione ENEA



2012, per il secondo anno consecutivo, il numero di biciclette vendute in Italia ha superato quello di autovetture.

Analisi del raggiungimento degli obiettivi indicativi nazionali di risparmio energetico, efficacia ed efficienza degli strumenti

Facendo riferimento all'orizzonte temporale 2005-2016 previsto nel PAEE 2011, il risparmio energetico complessivo derivante dalle misure analizzate ammonta ad oltre 73.000 GWh/anno, pari a circa il 58% dell'obiettivo previsto al 2016, derivanti in particolare dal settore residenziale e da quello dell'industria: quest'ultimo ha superato con quattro anni di anticipo l'obiettivo prefissato (Tabella 1).

Le misure esaminate promuovono interventi in settori economici diversi, pertanto è difficile una valutazione comparativa che tenga conto delle differenti dinamiche di mercato. Tuttavia si evidenzia che il meccanismo dei Titoli di

Efficienza Energetica, oltre a fornire il contributo maggiore in termini quantitativi di energia risparmiata, è anche il più conveniente dal punto di vista dell'efficienza economica per il contributo erogato (Tabella 2).

L'analisi dell'efficienza economica degli strumenti non tiene conto, in particolare, delle ricadute occupazionali e, più in generale, dell'impatto strategico su un dato settore specifico. A tal proposito, il settore delle costruzioni ha beneficiato, in questi anni di crisi, dell'apporto positivo del comparto della manutenzione edilizia (ordinaria, ma soprattutto straordinaria), unico contributo che ha ridotto la pesantissima caduta del settore dal 2008. Infatti, gli investimenti nel settore sono riconducibili per due terzi ad interventi di recupero sul patrimonio esistente, segno evidente di una trasformazione ormai consolidata verso la riqualificazione: all'interno di tale processo ha giocato un ruolo determinante la riduzione dei consumi energetici e la sostenibilità

Misura		Contributo (M€)	Vita utile (anni)	Contributo annuale (M€/anno)	Risparmio conseguito (GWh/anno)	Costo efficacia (€/kWh)
Certificati Bianchi		1.723	10	172	34.798	0,0050
Detrazioni 55%	Riqualificazione globale	296	20	14,79	433	0,034
	Strutture opache e infissi	5.164	20	258,19	3.107	0,083
	Pannelli solari	759	20	37,93	1.164	0,033
	Climatizzazione invernale	2.934	12	244,49	3.610	0,068
	Selezione multipla	769	20	38,45	574	0,067
					Media pesata	0,067
Detrazioni 20% motori e inverter	Motori	0,22	10	0,02	16	0,0014
	Inverter	0,61	10	0,06	121	0,0005
					Media pesata	0,0006
Ecoincentivi auto		1.589	12	132,44	1.315	0,101

TABELLA 2 Efficienza economica degli strumenti di incentivazione
Fonte: elaborazione ENEA



del processo produttivo, sostenuta dalla riproposizione e rafforzamento delle misure di incentivazione. Nel 2012 sono state complessivamente presentate 571.200 domande per la detrazione delle spese di riqualificazione edilizia, di cui 265.000 relative all'efficientamento energetico. Gli investimenti attivati in relazione al meccanismo di detrazione fiscale sono stimati, per il 2012, in circa 14 miliardi, di cui circa 3 miliardi ascrivibili agli interventi di riqualificazione energetica. A tali investimenti corrispondono circa 207.000 occupati diretti e 311.000 complessivi; di questi, la quota parte della riqualificazione energetica ammonta a 44.000 diretti e 67.000 complessivi. Si tratta di numeri significativi, considerando che, nello stesso anno, il settore ha perso circa 200.000 occupati.

Il potenziale di sviluppo del segmento della riqualificazione energetica nel breve e medio periodo appare notevole: immaginando di assegnare, per interventi di efficientamento energetico, circa 7 miliardi di euro ad esempio prelevati dai fondi comunitari nel settennio 2014-2020, ed aggiungendo a tali risorse le previsioni di impatto della reiterazione degli incentivi nel solo periodo 2014-2016 (circa 9 miliardi di investimenti attivati), si arriva ad un impatto occupazionale atteso di oltre 237.000 occupati diretti e 355.000 complessivi.

Le reti del futuro

All'interno del processo di cambiamento delineato dal Pacchetto 20-20-20, le città rivestono un ruolo cruciale: responsabili di circa il 75% del consumo mondiale di energia e dell'80% delle emissioni globali di CO₂, la promozione di centri

urbani intelligenti ed energeticamente efficienti risulta essere un contributo fondamentale per una crescita sostenibile.

La Commissione Europea, mediante l'iniziativa *Smart Cities* del SET Plan finalizzata a creare le condizioni necessarie all'adozione di massa delle tecnologie a favore dell'efficienza energetica, nell'ottica di un'economia a bassa emissione di carbonio, ha rafforzato la centralità del concetto di *Smart Cities* e, più in generale, di *Smart Communities*, quale progettualità finalizzata a migliorare la qualità della vita dei cittadini, mediante l'applicazione in ambito urbano/metropolitano di soluzioni tecnologiche intelligenti per lo sviluppo sostenibile.

In linea con la percentuale di consumo energetico complessivo annuo riconducibile ai consumi degli edifici e nell'ambito del quadro normativo italiano riguardo all'efficienza energetica, il potenziale teorico di risparmio da interventi di *building efficiency* è di circa 120 miliardi di euro, di cui 20-25 miliardi da edifici residenziali. Il *teleriscaldamento*, benché si tratti di una tecnologia ancora poco diffusa in Italia (circa 4% della domanda di calore per riscaldamento), è stato caratterizzato negli anni da un trend di crescita significativo: a fine 2012, risultano teleriscaldati circa 280 Mm³; di questi, oltre 166 Mm³ sono stati allacciati dal 2000 ad oggi, a testimonianza di un trend evolutivo in crescita.

Quanto alla diffusione delle iniziative in termini di numerosità di reti e città ove è presente il servizio, nel 2000 erano in esercizio 53 reti, presenti in 27 città italiane; nel 2012 risultano in esercizio 148 reti in 109 città, per un totale di 3.161 km di rete primaria. Confermando il tasso medio annuo di crescita osservato nel perio-

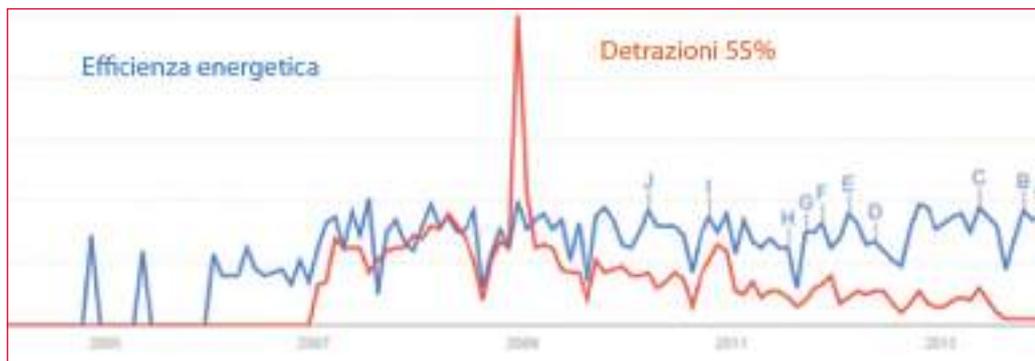


FIGURA 4 Andamento delle keywords 'Efficienza Energetica' e 'Detrazioni 55%'
Fonte: elaborazione ENEA

do 2000-2012, pari al 7,5%, la volumetria riscaldata raggiungerebbe i 500 Mm³ nel 2020 e supererebbe i 1.000 Mm³ nel 2030.

Un nuovo modello di comunicazione

La Direttiva Europea 2012/27/EU chiarisce come sia necessario adottare un approccio integrato per affrontare tutti gli aspetti della domanda e dell'offerta di energia: l'interfaccia tra le politiche e il comportamento umano rappresenta la chiave per raggiungere la riduzione dei consumi energetici. Appare evidente che se trasferire agli utenti finali e agli operatori le informazioni e le conoscenze sull'efficienza energetica, con la massima diffusione, rappresenta l'indispensabile punto di partenza per raggiungere gli obiettivi prefissati, lo è altrettanto condividere con gli stessi le "qualificazioni" dell'efficienza energetica: i benefici, le utilità, le prospettive ma anche i limiti. Per fare questo è necessario che esista un sistema di comunicazione efficace tra la fonte delle informazioni e i destinatari della stessa basata su codici e valori condivisi. Il processo

di comunicazione efficace vede coinvolti l'emittente (Pubblica Amministrazione), che trasmette il messaggio (efficienza energetica) direttamente al ricevente (i cittadini), che decodifica il messaggio originario dell'emittente, e a soggetti intermedi (mezzi di comunicazione e imprese), che da riceventi decodificano il messaggio originario dell'emittente per poi codificarlo a loro volta. Questi nel ruolo di nuovi emittenti aggiungono i propri codici e valori e trasmettono il messaggio attraverso un nuovo flusso di comunicazione verso il ricevente finale (sempre i cittadini), il quale in questo caso decodifica un nuovo messaggio. Infine, il ricevente invia un feedback di risposta all'emittente che lo decodifica a sua volta.

Il successo del messaggio comunicativo si avvale di differenti driver come ad esempio i meccanismi di incentivazione. A tale proposito una recente analisi ha dimostrato l'importanza che ha avuto nel processo di acculturamento sull'efficienza energetica del cittadino comune. Nella Figura 4

Sfide più rilevanti vengono poste dalla Direttiva 2012/27/UE con obiettivi più stringenti, che riguardano il 2020 e che necessitano la messa in campo di strumenti ancora più efficaci

Regione	NORM	INC	VOL	IPPEE
Piemonte	0,50	0,66	0,51	0,56
Valle d'Aosta	0,67	0,50	0,22	0,47
Lombardia	0,62	0,36	0,46	0,48
Trentino Alto Adige	0,82	0,61	0,37	0,60
Veneto	0,64	0,33	0,47	0,48
Friuli Venezia Giulia	0,71	0,39	0,43	0,51
Liguria	0,25	0,30	0,70	0,42
Emilia Romagna	0,63	0,37	0,69	0,56
Toscana	0,41	0,35	0,58	0,45
Umbria	0,58	0,46	0,49	0,51
Marche	0,52	0,33	0,50	0,45
Lazio	0,38	0,25	0,78	0,47
Abruzzo	0,53	0,29	0,66	0,50
Molise	0,58	0,54	0,47	0,53
Campania	0,33	0,26	0,22	0,27
Puglia	0,43	0,40	0,41	0,42
Basilicata	0,63	0,31	0,44	0,46
Calabria	0,50	0,38	0,18	0,35
Sicilia	0,38	0,18	0,24	0,27
Sardegna	0,56	0,40	0,49	0,48
Italia	0,51	0,35	0,47	0,44

TABELLA 3 Indice di Penetrazione delle Politiche di Efficienza Energetica (IPPEE)
Fonte: elaborazione ENEA

è visualizzato l'andamento della domanda di informazione su Internet da parte dell'utenza finale e l'andamento delle ricerche operate sulla rete rispetto ad alcune *keywords*, in particolare i termini analizzati sono stati: detrazioni 55%, efficienza energetica². Appare evidente come le ricerche sull'efficienza energetica abbiano subito un importante incremento in concomitanza con l'introduzione dell'incentivo e siano continuate anche successivamente, nonostante l'informazione sul 55% si sia saturata.

Performance delle politiche di efficienza energetica a livello regionale

Grazie ai dati a disposizione a livello regionale è stato elaborato un Indice di Penetrazione delle Politiche di Efficien-

za Energetica (IPPEE), che tiene conto di aspetti di carattere normativo e delle iniziative incentivanti e volontarie attivate dalle autorità locali. In particolare, sono stati costruiti i seguenti indicatori:

- Strumenti normativi (NORM):
 - Permessi di costruire per abitante nel settore residenziale;
 - Permessi di costruire per addetto nel settore non residenziale;
 - Energy Manager per addetto nominati da soggetti obbligati;
- Politiche di incentivazione (INC):
 - Risparmio energetico per abitante derivante dal meccanismo delle detrazioni fiscali del 55%;
 - Titoli di Efficienza Energetica per addetto emessi dall'avvio del meccanismo;
 - Pagamenti per abitante da progetti FESR;
- Strumenti volontari (VOL):

- Quota di popolazione residente in Comuni che hanno adottato regolamenti edilizi energeticamente efficienti;
- Quota di popolazione residente in Comuni che hanno sottoscritto un PAES.

La Tabella 3 riporta i valori normalizzati dei tre parametri principali e l'indice sintetico finale di penetrazione delle politiche di efficienza energetica IPPEE: il valore più elevato è stato registrato per il Trentino Alto Adige, seguito da Piemonte ed Emilia Romagna. ●



immagini

A pag. 3 in alto, il nuovo centro commerciale Nave de Vero inaugurato a Marghera (Venezia). Ha ottenuto la certificazione BREEAM, protocollo internazionale di valutazione ambientale delle prestazioni dell'edificio.

A pag. 4 l'impianto di generazione combinata di vapore ed energia elettrica dell'Ospedale Versilia di Camaiore, dotato di una innovativa turbina a gas *oil-free*.

A pag. 7 un bus elettrico a Torino, alimentato da celle a combustibile che utilizzano idrogeno.

A pag. 8 una veduta dall'alto dello stabilimento di prodotti ittici New Sea di Rosolina (Rovigo).

A pag. 11, edificio ristrutturato a Verdello (Bergamo). Classe energetica A, rivestimenti in alluminio realizzati da PREFEA.

note

1. Fonte: Ministero dello Sviluppo Economico, Bilancio Energetico Nazionale (BEN), 2012.
2. Per l'analisi è stato utilizzato lo strumento Google Trends, un servizio di pubblica utilità offerto da Google. Il servizio consente di visualizzare l'andamento delle ricerche su una determinata keyword nel corso del tempo. È sufficiente digitare una keyword per visualizzare quante persone l'hanno cercata in un orizzonte temporale di cinque anni. È anche possibile effettuare contemporaneamente più ricerche su un medesimo grafico. Ogni keyword viene rappresentata da un colore diverso. Oltre a mostrare il volume delle ricerche effettuate sul motore di ricerca Google (search volume) il servizio Google Trends consente di analizzare anche il volume di news pubblicate sull'argomento nel corso del tempo. Le ricerche possono essere effettuate sia a livello globale, sia a livello nazionale. In questo modo è possibile comprendere se un determinato tema ha perso di interesse o ha acquistato una crescente popolarità.

Il più grande spettacolo dopo il big bang è l'inflazione cosmica

C'è una forte brezza nell'universo. E il vento di una notizia sorprendente, si può dire inattesa, agita di nuovo il mondo della fisica dopo la scoperta del bosone di Higgs. Forse addirittura con forza maggiore. Dopo cento anni dalla relatività generale, la traccia indiretta delle tanto ricercate onde gravitazionali, predette da quella teoria, arriva nel gelido territorio antartico. Il 17 marzo 2014 la cosmologia inflazionaria rinasce su basi sperimentali

DOI: 10.12910/EAI2014-54

■ Emilio Santoro

Ecosì, ci fu un tempo in cui qualcosa fluttuò nel vuoto o in qualche dimensione sconosciuta, forse per l'urto fra due immense strutture pluridimensionali chiamate *brane*, galleggianti in un "bulk oltredimensionale"... In quel luogo ancora senza spazio e senza tempo si concentrò in un atto creativo tantissima energia per tempi infinitesimi – grazie a una legge che sarebbe diventata poi un principio di indeterminazione – e da quella fluttuazione si produsse un *big bang*, per qualcuno una sorta di *pasto gratis*, in realtà un brodo primordiale caldissimo di energia che però a quel tempo non avrebbe potuto ospitare ancora alcun... cucchiaino. Per raffreddarlo a sufficienza e per poter osservare qualcosa di più solido e di più consistente al suo interno – senza poterci soffiare naturalmente

su – si sarebbero dovuti aspettare 380 mila anni. Per arrivare a un rinfrescamento più serio, intorno ai 273 gradi centigradi sottozero (un bel congelatore!), si sarebbero dovuti attendere ancora 13 miliardi e 800 milioni di anni, l'età attuale dell'universo.

Noi galleggiamo in un vuoto freddissimo e i 273 gradi sottozero corrisponderebbero alla temperatura dello "zero assoluto". Però questo "zero" termico che ci circonda non è proprio zero, se lo misuriamo bene col termometro... ci sono circa tre gradi in più. E la cosa straordinaria è che questa temperatura registrata permea in modo omogeneo e uniforme tutto lo spazio. Si tratta della temperatura di una radiazione che è così *ovunque*. Perché?

Perché essa rappresenta il resto fossile di un grandioso spettacolo, il "rumore" di qualcosa che avvenne proprio 13 miliardi e 800 milioni di anni fa, la traccia della nascita "alla luce" dell'universo, come l'eco di un vagito cosmico. Viene chiamata

CMB o radiazione cosmica di fondo, che sonde sempre più sofisticate "fotografano" con dettagli via via maggiori per scoprire in essa piccole disuniformità di temperatura. Disuniformità che, 380 mila anni dopo il *big bang*, sarebbero state i semi della formazione, molti anni dopo, di stelle e di galassie... e anche di noi viventi, in definitiva. L'idea di noi era in fieri in quelle sterminate piccole disuniformità, in quelle piccole fluttuazioni locali.

Per permettere che ogni cosa funzionasse a dovere, che nascesse una fisica idonea anche a prevederci, che lo spazio fosse abbastanza piatto da poter giocare col teorema di Pitagora a dimensioni estese, l'universo sarebbe dovuto essere "connesso" in ogni suo punto. E anche omogeneo. Più o meno a geometria piatta. Insomma, abbastanza regolare da suggerire la possibilità di un "grande imbroglio" (come ebbe modo di dire il grande astronomo reale Sir Fred Hoyle osservando certe proprietà molto particolari

■ Emilio Santoro
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione e la Gestione del Materiale Nucleare



nella nucleosintesi del carbonio). Negli anni '80, Alan Guth propose un modello per spiegare il “trucco delle tre carte cosmiche”: un miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di miliardesimo di secondo dopo la *big bang* e fino a un tempo forse di poco superiore a dieci volte questo infinitesimo attimo, le dimensioni dell'universo passarono in proporzione da quelle di una punta di spillo a quelle della nostra Galassia. Di fatto, in modo *istantaneo*, quasi un cambiamento improvviso di scala. Una crescita straordinariamente rapida (detta esponenziale) che “stirò” lo spazio e anche il tempo. A questa crescita impressionante dell'universo è stata data – con un termine che evoca in genere problematiche economiche – la denominazione di “era inflazionaria”. Anche se elegante, in accordo indiretto con le osservazioni sperimentali, la teoria inflazionaria rimaneva teoria... Fino a ieri. Procediamo. Uno dei grandi meriti di Einstein è stato quello di aver descritto la gravitazione in termini di “varietà geometrica” dello spaziotempo. Nel senso che quest'ultimo risulta perturbato dalla presenza di massa nell'universo, deformandosi esattamente come un foglio elastico sul quale venga poggiato un oggetto pesante. Un buco nero, nella sua rappresentazione bidimensionale, non sarebbe nient'altro che una esasperazione di questo fenomeno, una sorta di voragine prodotta nel foglio elastico da un oggetto pesantissimo. La predizione di Einstein andava però oltre: i suoi calcoli mostravano chiaramente che perturbazioni all'interno di grandi

masse cosmiche (esplosioni di supernovae, collassi stellari e formazione di buchi neri) avrebbero dovuto produrre *onde di gravità* nello spaziotempo, un po' come onde d'urto che si sarebbero poi propagate nell'universo esattamente come le onde di uno stagno pieno d'acqua generate da un sasso lasciato cadere sulla sua superficie. La caccia alle onde gravitazionali è stata lunga, sin da quando sono state installate le prime antenne gravitazionali fino ai più moderni e maggiormente sensibili strumenti che si basano sulla interferometria laser, in grado di percepire le minime perturbazioni diffuse nello spaziotempo e indotte da lontani e catastrofici effetti massivi.

Quale effetto massivo però potrà essere mai più grande di ciò che è avvenuto nell'attimo in cui tutto l'universo s'è gonfiato nell'era inflazionaria? Certo, non era pensabile rilevarlo direttamente visto che le prime informazioni cui possiamo accedere partono dalla radiazione cosmica di ben 380 mila anni *dopo*, quando finalmente nel brodo opaco la luce riuscì a separarsi dalla materia rendendo l'universo visibile e trasparente alla radiazione... E allora? Occorreva cercare il colpevole forse proprio nella radiazione cosmica, qualcosa che inequivocabilmente mostrasse la traccia di ciò che era avvenuto molto tempo prima, un po' come un indizio sul luogo del crimine, la pistola fumante...

Ricordiamo che molto è stato fatto per indagare, sempre più in dettaglio, il momento in cui l'universo si rese visibile nel disaccoppiamento fra luce e materia, a partire dalla

scoperta effettuata nel 1964 fino alle indagini strumentali con palloni sonda come BOOMERanG (che vide la partecipazione ENEA) e i satelliti COBE, WMAP e ultimamente PLANCK.

Non si riteneva fosse possibile esplorare indietro nel tempo oltre tale istante... e invece, qualcosa che è stata scoperta in questa radiazione sembrerebbe evidenziare una traccia ancora più antica, 380 mila anni più antica. Un po' come trovare l'impronta fossile del primo organismo vivente preistorico in uno scavo...

Il 17 marzo di quest'anno è stato dato il clamoroso annuncio: dopo un'attenta e lunga campagna di misure raccolte in Antartide dal South Pole Telescope (SPT) con uno strumento chiamato BICEP2 che guarda non nello spettro visibile ma nella regione delle microonde, è stato trovato il “baco” nella radiazione cosmica, una sorta di “spiraleggiamento” della radiazione compatibile con gli effetti gravitazionali del pur lontanissimo evento inflazionario dell'universo [arXiv: submit/0934323 [astro-ph.CO] 17 Mar 2014: “BICEP2 I: detection of B-mode Polarization at Degree Angular Scales”; arXiv: submit/0934363 [astro-ph.CO] 17 Mar 2014: “BICEP2 II: Experiment And Three – Year Data Set].

La teoria di Guth da questo momento non sembra essere più soltanto una teoria. Ci vorranno ulteriori conferme sperimentali ma tutto sembra dare credito a quella che è stata una grande intuizione, come è accaduto per il bosone di Higgs. E confermando nei risvolti più eclatanti – ammesso fosse ancora ne-

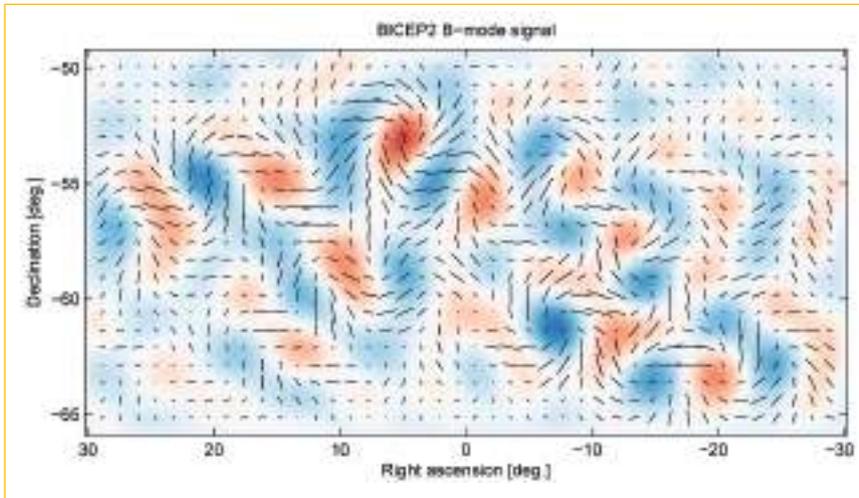


FIGURA 1 Nell'immagine si possono vedere le direzioni "spiraliformi" (modo B) nella polarizzazione della radiazione cosmica di fondo, traccia fossile delle onde gravitazionali nell'era inflazionaria

cessario – quella immensa opera filosofica e scientifica che è stata la sintesi di Einstein.

Le sorprese però non sono ancora finite. È un po' come se si fosse spalancato uno scrigno colmo di straordinarie ricchezze.

Cominciamo dall'inizio. Spieghiamo tutta la fisica. In fondo, a pensarci bene, essa si basa sulla risposta a quattro semplici quesiti:

- perché una palla lanciata in aria ricade sulla terra?
- perché una lampadina illumina una stanza?
- perché esiste la radioattività?
- perché esiste la materia?

Ognuna di queste domande descrive una "forza" fondamentale della natura, in pratica tutta la fisica. La risposta alla prima domanda si chiama "forza di gravità". Alla seconda si risponde con "forza elettromagnetica". Alla terza con "forza nucleare debole". Alla quarta con

"forza nucleare forte". E dato che si tratta di forze, si può attribuire ad esse un valore per misurarne l'intensità, una grandezza relativa arbitraria che possa in qualche modo permetterci di confrontarle.

Bene, se a quella nucleare forte, quella che tiene unita la materia, che la fa esistere perché la racchiude interamente all'interno del nucleo dell'atomo, diamo convenzionalmente valore 1, la forza nucleare debole, che spiega in che modo alcuni elementi si liberano di energia in eccesso "decadendo" in altri elementi verso la stabilità tramite la radioattività, risulta diecimila volte più piccola rispetto a quella. La forza elettromagnetica è circa cento volte più piccola. Quella gravitazionale è addirittura insignificante: un valore pari a 1 seguito da 39 zeri più piccolo!

Ciò che si è sempre pensato è che un tempo queste forze non doves-

sero essere così diverse tra loro. E questa particolare condizione si sarebbe dovuta verificare proprio nei primissimi istanti di vita dell'universo, quando le energie legate alle alte temperature della radiazione fossero state molto alte. Bene, i dati potrebbero confermare proprio che alla temperatura in cui l'universo ha iniziato la sua rapida espansione, tre delle quattro forze (con esclusione ancora di quella gravitazionale) fossero indistinguibili le une dalle altre: ciò corrisponderebbe alla fase chiamata di Grande Unificazione.

C'è ancora dell'altro. Non si finisce più! Forse è l'aspetto più intrigante. Se la gravità si propaga tramite onde, il formalismo descrittivo dovrebbe essere identico a quello che viene utilizzato nella trattazione delle onde elettromagnetiche, che si trasmettono appunto nel campo elettromagnetico. Ora, così come un campo da tennis può essere *identificato* dalla pallina da tennis e viceversa (o un campo da calcio dal pallone da calcio), nel campo elettromagnetico la "pallina" che lo identifica è un *quanto* (come grandezza fondamentale) chiamato *fotone*. Ma anche il campo della forza nucleare debole e quello della forza nucleare forte possono essere "quantizzati" alla stessa stregua. Per anni, solo la gravità sembrava inutilmente ricercare il proprio *quanto* come una sorta di Sacro Graal della fisica.

Se esistono le onde gravitazionali, esiste la *gravità quantistica*. E se esiste la gravità quantistica deve esistere il suo "quanto", il cosiddetto *gravitone*. Aristotele può ancora insegnare qualcosa con i suoi sillogi-

smi. Un inizio per guardare davvero all'unificazione completa delle quattro forze nella cosiddetta Teoria del Tutto. Il sogno di spiegare ogni cosa con un'unica teoria elegante e completa. Un po' come ha intitolato Douglas Adams uno dei suoi famosi romanzi di fantascienza umoristica: "La vita, l'universo e tutto quanto"...

Ciò che si è aperto è un fronte di ricerca straordinario. Gli accele-

ratori di particelle come il Large Hadron Collider del CERN di Ginevra dovranno essere sempre più grandi per poter scandagliare livelli di energia che si avvicinino agli istanti primordiali di esistenza dell'universo. Non è però possibile costruire con la tecnologia attuale acceleratori grandi come il sistema solare né come la circonferenza della nostra galassia. Non sarebbe neppure pensabile.

Però, con un telescopio nelle lande gelate dell'Antartide (ma calde come ai tropici se rapportate alle attuali temperature cosmiche) siamo arrivati al muro dell'inflazione cosmica, meno, molto meno di un battito di ciglia dal vero *big bang*, dall'inizio di ogni cosa, anche se in modo indiretto. Guardando semplicemente sopra la nostra testa. Perché, per dirla con Shakespeare, ci sono più cose in cielo...



FIGURA 2 Il South Pole Telescope, a sinistra, e il telescopio BICEP2 (Background Imaging of Cosmic Extragalactic Polarization), a destra, che hanno effettuato la campagna di misure della radiazione cosmica di fondo.
Crediti: Keith Vanderlinde



Politiche della ricerca energetica in Italia

La politica energetica non può limitarsi a una strategia di breve periodo ma richiede una visione di riferimento di lungo termine, guida per i programmi di ricerca sia dei principali Paesi sia delle imprese energetiche. Avere una visione globale, che deve tener conto dell'evoluzione dello scenario e dei molteplici attori del sistema energetico mondiale, non esclude però un ruolo specifico per il nostro Paese, adatto alle condizioni geoclimatiche, alle risorse naturali, al nostro sistema produttivo, alle nostre esperienze. Nell'articolo l'autore indica i possibili obiettivi delle politiche della ricerca energetica

DOI: 10.12910/EAI2014-55

■ Ugo Farinelli

Strategia o Tattica Energetica Nazionale?

Quando poco più di un anno fa il Ministero per lo Sviluppo Economico ha pubblicato e sottoposto a una consultazione allargata un documento sulla Strategia Energetica Nazionale (SEN, vedi <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2012/n.-3-maggio-giugno-2012/lin-intervista>), nella maggior parte delle osservazioni fatte dagli "addetti ai lavori" è prevalso un giudizio positivo sia sul contenuto della proposta sia sull'ampiezza e la serietà del processo di formazione di questa strategia. Un aspetto ha però sollevato una critica abbastanza diffusa: la limitatezza dell'orizzonte temporale. Infatti, con poche eccezioni (per le quali si fa riferimento soprattutto al documento comunitario della Ro-

admap dell'Energia al 2050) l'orizzonte temporale si limita al 2020: il che, in termini di sistema energetico nazionale, è domani o quasi, tanto da farci chiedere paradossalmente se si trattava veramente di SEN o non piuttosto di TEN (Tattica Energetica Nazionale). Manca insomma una visione di lungo termine del sistema energetico italiano (vedi anche <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2012/n.-6-novembre-dicembre-2012/leditoriale>). Vi sono motivi seri a sostegno di questa limitazione temporale. Nel passato abbiamo assistito a troppe elaborazioni prive di sostanza e di strumenti attuativi, troppi libri dei sogni. Prima di tutto, le strategie energetiche sono determinate dai mercati piuttosto che dai governi; e la limitazione dell'orizzonte può essere vista come un segno di concretezza, il concentrarsi su quello che è possibile fare oggi senza fughe in avanti. In secondo luogo, i siste-

mi energetici a livello mondiale non sono più determinati dai protagonisti di un tempo: i grandi Paesi industriali, l'OPEC, l'Europa e gli Stati Uniti; in misura crescente i protagonisti sono i Paesi emergenti, i BRICS (Brasile, Russia, India, Cina, Sudafrica) e a ridosso di questi i MIST (Messico, Indonesia, Sud-Corea e Turchia, più altri 7 che complessivamente hanno già superato l'Europa come PIL); non siamo ancora abituati a dare più importanza alle decisioni prese dalla Cina piuttosto che a quelle europee; e forse ci manca ancora la capacità di interpretare, e ancor più di prevedere, le loro strategie e i loro processi decisionali.

L'importanza della ricerca energetica

Ma quando si tratta di ricerca il discorso cambia. Dobbiamo avere qualche idea di che cosa cerchiamo, cioè di dove vogliamo arrivare.

■ Ugo Farinelli
Associazione Italiana Economisti
dell'Energia (AIEE), Fondazione Energia



I tempi in gioco per la ricerca energetica sono molto lunghi, e gli impianti che producono o consumano energia sono progettati per durare molti decenni. Noi vorremmo che questi sistemi energetici fossero “amichevoli”, adatti all’uomo, cioè sostenibili. I sistemi energetici attuali certamente non sono sostenibili, e dovranno essere sostituiti entro 30 o 50 anni. Ciò richiede di avere una visione di riferimento di lungo termine; ed è a questa visione che faranno riferimento i programmi di ricerca sia dei principali Paesi sia delle imprese energetiche. In pratica, l’evoluzione complessiva di questo sistema è quella che determinerà l’ambito ristretto in cui si potrà muovere la “politica energetica” italiana. Non è più il tempo (e forse non lo è mai stato) in cui si poteva immaginare una via originale diversa da tutte le altre; ma rimane la possibilità, anche la necessità di ricavare un ruolo specifico per il nostro Paese, adatto alle condizioni geoclimatiche, alle risorse naturali (o alla loro scarsità), al nostro sistema produttivo, alle nostre esperienze.

Gli obiettivi delle politiche energetiche sono comuni a quasi tutti i Paesi, con sottolineature e priorità diverse, e sono:

- la sicurezza degli approvvigionamenti, cioè la possibilità di disporre dell’energia necessaria al soddisfacimento delle necessità di tutti a prezzi accessibili;
- la protezione dell’ambiente e del clima, in particolare alla limitazione del riscaldamento globale del pianeta, anche nell’ambito dei più vasti accordi internazionali;
- un costo sufficientemente basso



FIGURA 1 Mhybus, prototipo di autobus con motore a combustione alimentato da una miscela di idrogeno e metano. Applicazione dimostrativa per il trasporto urbano a Ravenna condotta da ENEA, Regione Emilia Romagna, Start Romagna, SOL e ASTER

dell’energia per il sistema produttivo, tale da non portare a posizioni di svantaggio competitivo delle produzioni nazionali sul mercato internazionale.

Innovazione energetica insufficiente in Italia

Può sembrare che il tener conto di queste indicazioni molto generali e insieme delle peculiarità del nostro Paese sia relativamente semplice. Proveremo a mostrare che forse la risposta non è sempre banale.

Una prima distinzione corre tra la ricerca relativa alla generazione e alla trasformazione dell’energia, e quella relativa al suo utilizzo; cioè tra offerta di nuova energia e riduzione della domanda di energia. Il cosiddetto “dibattito sul negawatt” degli anni 80 del secolo scorso, specie negli Stati Uniti, ha mostrato che in moltissimi casi è più conveniente usare più efficientemente l’energia piuttosto che investire in nuovi impianti di generazione; oltre all’economia, ne

guadagna anche l’ambiente.

Una priorità in questo senso degli stanziamenti per la ricerca energetica sembrerebbe quindi giustificata, e corrispondente anche alle caratteristiche del nostro panorama industriale (forte presenza della produzione di elettrodomestici, un comparto molto attivo per la produzione di beni strumentali, una lunga storia di energia a prezzi elevati che ha creato una sensibilità diffusa sull’efficienza energetica). È una priorità che è anche espressa nella SEN ma, almeno per il momento, non confermata dalle statistiche. Anche la tradizionale parsimonia nei consumi per i mezzi di trasporto non ci ha mantenuti ai primi posti in questo campo, rispetto alle emergenti offerte, specie asiatiche. E la perdita di leadership nel campo degli elettrodomestici è un altro elemento per noi non favorevole.

Tra le innovazioni più importanti del lato usi finali vi sono indubbiamente quelle legate al settore dei trasporti, che a differenza degli altri settori sta

continuando ad aumentare il proprio peso relativo, senza che appaiano soluzioni risolutive, specie per il trasporto passeggeri. Anche l'industria automobilistica italiana, ricca di idee e di soluzioni innovative a livello di problemi tecnici, non sembra avere particolarmente a cuore l'innovazione di sistema. Uno spunto potrebbe venire dall'osservazione che l'Italia è il Paese con la più alta presenza del metano come carburante per l'autotrazione.

Nel settore delle energie tradizionali – gli idrocarburi – l'Italia ha mantenuto un livello tecnologico di avanguardia, specie per quanto riguarda l'upstream, nonostante la mancanza dell'opportunità di applicare queste tecnologie sul territorio nazionale, e si colloca bene nel settore della prospezione (nuove tecniche di ricostruzione tridimensionale dei giacimenti a partire dai dati sismologici, ai limiti delle capacità dei più recenti supercalcolatori) come in quello dello sfruttamento di giacimenti in condizioni difficili (perforazione di pozzi curvi, orizzontali e ramificati) e ha acquisito una posizione di leadership nella realizzazione e gestione dei gasdotti (in particolare sottomarini). Più problematica l'innovazione nel downstream, dove ci si è trovati di fronte alla crisi del settore della raffineria, con una forte contrazione degli impianti.

Complessivamente, non sta ancora aparendo in Europa (e tanto meno in Italia) la stagione del petrolio e del gas “non convenzionali”, che in pochi anni ha rivoluzionato il mercato degli idrocarburi e in particolare del gas naturale, trasformando gli Stati Uniti da pesanti

importatori a potenziali esportatori di idrocarburi (vedi <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2012/n.-4-5-luglio-ottobre-parte-I/gas-e-petrolio-non-convenzionale-molto-meno-di-una-rivoluzione> e <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI/anno-2012/n.-3-maggio-giugno-2012/idrocarburi-non-convenzionali>). Ma questa situazione potrebbe evolvere abbastanza rapidamente in Europa, e qualcuno ne legge già i primi segnali. L'ovvia domanda che ci si pone è: l'industria nazionale sarebbe pronta a far frutto di un mutamento di prospettiva di questo genere?

Qualche noticina a margine: il 29 aprile 1992 venne emanata la “famigerata” CIP-6 (delibera 6 del Comitato Interministeriale Prezzi), destinata alla promozione delle fonti energetiche rinnovabili, ma estesa (in maniera sostanzialmente arbitraria) ad alcune fonti “assimilate” a quelle rinnovabili, in particolare alla valorizzazione energetica dei rifiuti che poi fecero la parte del leone nella ripartizione dei finanziamenti.

Partendo da questo assunto arbitrario, tuttavia, furono realizzati in tre raffinerie altrettanti impianti tecnologicamente avanzati per la gassificazione dei residui di raffinazione e la produzione di calore per il processo e di elettricità. Questa importante dote di conoscenza complessivamente guadagnata dall'industria italiana (eccellenza a livello mondiale) non risulta essere stata utilizzata per la realizzazione di impianti analoghi in grandi impianti chimici. Un'opportunità mancata (peccato originale a parte!).

Marginali rispetto alle linee di ricerca energetica condotte in Italia sono le tecnologie “pulite” del carbone. Non essendo per il momento (e presumibilmente ancora per un lungo periodo) previste nuove centrali a carbone in Italia, queste tecnologie sono di eventuale interesse per la realizzazione di centrali avanzate a carbone in altri Paesi (soprattutto emergenti) da parte di industrie italiane. Si tratta quindi di una seconda priorità almeno per quanto riguarda la politica energetica, anche se può



FIGURA 2 L'impianto Zecomix presso il Centro ENEA Casaccia consente di effettuare test sulle diverse fasi di una nuova tecnologia per la produzione di gas ricco di idrogeno ed energia elettrica da carbone con contemporanea cattura della CO₂



FIGURA 3 Impianto pilota di Steam Explosion (presso il Centro Ricerche ENEA Trisaia) per il trattamento della biomassa al fine di migliorare il recupero delle frazioni di cellulosa, emicellulosa e lignina e poter procedere alla loro valorizzazione per la produzione di biocarburanti, materiali plastici e *chemicals*

essere un obiettivo di interesse per la politica industriale.

Un discorso a parte riguarda la considerazione della CCS (*Carbon Capture and Storage*) – separazione e stoccaggio dell’anidride carbonica. La maggior parte degli scenari di lungo termine che tendono a limitare a due gradi centigradi l’innalzamento della temperatura media della Terra contano sull’applicazione di questa tecnologia almeno per un consistente periodo di tempo. La CCS dovrebbe applicarsi a tutti gli impianti di una certa dimensione che utilizzano combustibili contenenti carbonio – carbone, gas, petrolio e anche biomasse. Tuttavia essa è molto più importante per gli impianti a carbone, che emettono oltre il doppio di anidride carbonica rispetto agli impianti a gas naturale. L’Italia ha una presenza di impianti a carbone molto inferiore rispetto ad altri Paesi, essendo la produzione termoelettrica soprattutto basata

sul gas. Pertanto, l’Italia potrebbe considerare meno urgente l’utilizzo di questa tecnologia (che comporta una perdita sensibile di rendimento energetico nella produzione termoelettrica o in altri impianti industriali). Tuttavia l’Italia partecipa attivamente ad alcuni dei più impegnativi progetti internazionali di CCS.

L’impianto Zecomix presso il Centro ENEA Casaccia consente di effettuare test sulle diverse fasi di una nuova tecnologia per la produzione di gas ricco di idrogeno e di energia elettrica da carbone con contemporanea cattura della CO²

Sulle fonti rinnovabili di energia vi è un notevole interesse dell’industria

italiana, almeno a giudicare dalle risposte al bando “Industria 2015” del Ministero dello Sviluppo Economico. Tuttavia la nostra industria ha beneficiato in misura modesta degli incentivi, da molti giudicati eccessivi, almeno per quanto riguarda il solare fotovoltaico e l’eolico, lasciando il grosso della produzione hardware a concorrenti stranieri: un risultato deludente, specie nel solare, dove l’industria e i laboratori italiani, specie dell’ENEA, avevano raggiunto risultati importanti di ricerca. Altro settore in cui forse si sarebbe potuto ottenere risultati migliori è quello della geotermia. L’Italia è stata per quasi un secolo leader mondiale in questo campo (fin da quando nel 1905 si produsse la prima elettricità geotermica a Larderello), e l’industria italiana aveva svolto un ruolo essenziale per la nascente industria geotermica di altri Paesi come la Grecia e la Cina. Al momento della realizzazione di impianti su vasta scala, però, sono subentrati i concorrenti, a partire dal Giappone. Meglio sta andando viceversa il settore delle biomasse, dove sono attive alcune industrie e laboratori nazionali, universitari e dell’ENEA nello sviluppo di nuovi processi per ottenere biocarburanti (in particolare dalla idrolisi della cellulosa) in uno sforzo che ben figura a livello internazionale. ●

conclusioni

Complessivamente ci sono quindi segnali complessivamente non negativi dal mondo industriale e accademico per quanto riguarda la ricerca in campo energetico, ma molto di più e di meglio si potrebbe fare sfruttando le competenze esistenti e sfruttate oggi complessivamente a livello assai inferiore alle loro potenzialità.

Si richiede però (ed è particolarmente importante in un periodo di crisi come questo) un ripensamento e un rilancio degli operatori del settore e una rinnovata distribuzione dei ruoli. Questo richiede in particolare un ritorno alla piena operatività dell’ENEA, che non deve essere limitato al pur benemerito supporto di Agenzia in appoggio all’attività del governo, ma di cui è importante rilanciare (e forse siamo ancora in tempo) il duplice ruolo di produttore di risultati di ricerca scientifica e tecnologica ad alto livello, e di tramite/interprete tra il mondo della ricerca e quello della produzione.

Nucleare e rinnovabili: mix integrato a livello europeo per garantire autosufficienza ed emissioni zero

Passati tre anni dal grave incidente di Fukushima lo scenario mondiale del nucleare è tornato in fermento. Molti programmi sono regolarmente proseguiti, nuovi progetti rimessi in cantiere. Gli autori pensano che sia arrivato il momento di riparlarne senza pregiudizi anche in Europa. Soprattutto se si scopre che nucleare e rinnovabili potrebbero proficuamente integrarsi, come mostra una ricerca del Massachusetts Institute of Technology, e portare a una drastica riduzione delle emissioni, o addirittura delle concentrazioni, di carbonio nell'atmosfera. Ecco perché l'opzione nucleare appare ancora a molti esperti una premessa indispensabile per una seria e realistica strategia energetica a lungo termine a livello nazionale e continentale

DOI: 10.12910/EAI2014-56

■ Mauro Cappelli, Agostino Mathis

L'opzione nucleare dopo Fukushima

A tre anni dall'incidente di Fukushima che ha drammaticamente riproposto il tema della sicurezza nucleare come cardine imprescindibile delle scelte energetiche di ogni Paese, è forse venuto finalmente il momento di tornare a parlare di nucleare in modo più pacificato.

L'analisi delle conseguenze radiologiche dell'incidente è sicuramente oggi più rassicurante di quanto inizialmente paventato, malgrado

i dati non siano ancora definitivi e gli effetti dovranno essere valutati *in progress*. Rispetto all'incidente di Chernobyl del 1986, con cui condivide la classificazione INES di livello 7 (il più grave), l'evento catastrofico giapponese ha fatto registrare un rilascio in atmosfera circa dieci volte inferiore, in gran parte finito in mare. La dose cui è stata esposta la popolazione è risultata massima intorno all'impianto di Fukushima, superiore al fondo naturale giapponese ma comunque inferiore rispetto al fondo naturale presente in altri luoghi abitati del pianeta (anche in Italia). Fuori dall'area più vicina alla centrale, l'esposizione è non lontana dal fondo naturale, con processi di decontaminazione già in fase avanzata.

Non si può tuttavia non notare come

l'impatto dell'incidente sia stato invece esiziale per le politiche energetiche di molti Paesi. Oltre all'Italia, diversi sono stati i Paesi che hanno reagito all'incidente mettendo in moratoria i rispettivi programmi nucleari. Almeno così fino a oggi. In realtà, a parte il caso italiano e alcune eccezioni come la Germania o la Svizzera, che richiederebbero però approfondimenti di politica interna, il resto del mondo, ripresosi dallo shock, ha rimesso in cantiere nuove centrali o continua a lavorare per la estensione della vita utile dei vecchi impianti.

Si può dunque parlare di fine dell'effetto Fukushima, come hanno titolato molti organi di informazione nell'anniversario dell'evento? Secondo le stime della World Nuclear Association sono attualmente oltre

■ Mauro Cappelli
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie e Impianti per la Fissione e la Gestione del Materiale Nucleare

■ Agostino Mathis
Consulente del Ministero Istruzione, Università e Ricerca



430 i reattori commerciali in funzione nel mondo, distribuiti in 30 Paesi, con una capacità complessiva superiore a 370 gigawatt elettrici (GWe). La Figura 1 mostra l'evoluzione della produzione di energia elettrica di origine nucleare: il calo degli ultimi anni è dovuto essenzialmente alla fermata dei reattori giapponesi e di diversi reattori tedeschi, a seguito dell'incidente di Fukushima. Circa 70 i nuovi reattori in costruzione, più di 170 quelli in fase finale di *licensing* e pronti nei prossimi dieci anni, ed oltre 300 quelli proposti. Senza contare i circa 240 reattori di ricerca operanti in 56 Paesi e i 180 reattori nucleari che alimentano navi e sottomarini. Un parco di tutto rispetto, che fornisce più dell'11% dell'energia elettrica mondiale, in grado di coprire il carico di base in modo continuo e affidabile e senza emissioni di CO₂. (Figura1)

Il Rinascimento nucleare, magari troppo retoricamente annunciato all'inizio di questo millennio, sembra dunque aver sostanzialmente tenuto. *Business as usual*, potrebbe annotare l'osservatore disincantato. In realtà, è l'effetto della fame energetica che si sta espandendo in territori finora rimasti ad un livello pre-industriale. Lo dimostra il dato secondo cui la maggior parte dei reattori in costruzione proviene dai cosiddetti Paesi emergenti: i BRICS (Brasile, Russia, India, Cina, Sudafrica) e le nuovi tigri asiatiche come la Corea del Sud o l'intraprendente Vietnam. Nuovi Paesi energivori, affamati di quell'energia elettrica che sola può far compiere il salto di qualità da un'economia sottosviluppata all'industrializzazione su ampia scala, e quindi a un accettabile livello di vita per tutta la popolazione. Ecco, è proprio qui il punto. Da un lato, l'Occidente che s'inter-

roga sulla sostenibilità del proprio modello di sviluppo, dall'altro il resto del mondo che rivendica il diritto alla stessa crescita di cui hanno usufruito fino a ieri i Paesi già sviluppati per raggiungere livelli di vita comparabili con quelli dei Paesi più ricchi. Dal confronto fra le scelte di tenore ideale dei primi e quelle improntate a uno stringente realismo dei secondi sarebbero dovute nascere le politiche globali in tema di ambiente, energia e sviluppo che hanno avuto il loro palcoscenico mediatico a Rio e poi a Kyoto per poi rifluire verso posizioni più vaporose a Copenhagen, fin quasi a scomparire dall'agenda politica internazionale con i *meeting* successivi.

Scelte energetiche e cambiamenti climatici

I Governi hanno concordato alla Conferenza della United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), tenutasi a Cancun (Mexico) nel 2010, che l'incremento medio della temperatura globale, rispetto ai livelli pre-industriali, debba essere mantenuto al disotto dei 2° C, per evitare possibili gravi destabilizzazioni del clima. Esiste un ampio consenso internazionale intorno all'ipotesi che la stabilizzazione della concentrazione atmosferica dei gas-serra e degli aerosol al disotto delle 450 ppm di anidride carbonica equivalente (CO₂-eq) sia coerente con una probabilità del 50% di conseguire il predetto limite dei 2° C (*Scenario 450*). Tuttavia, le emissioni di gas-serra continuano ad aumenta-

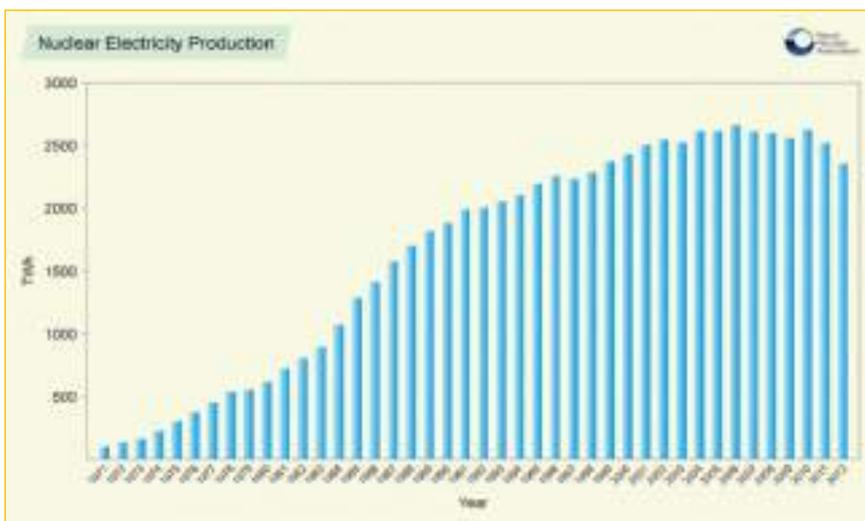


FIGURA 1 Evoluzione della produzione di energia nucleare dal 1971 al 2012
Fonte: World Nuclear Association 2014 (TWh: terawattora)

re rapidamente. A dicembre 2013 il livello nell'atmosfera della sola CO₂ ha raggiunto 396,81 ppm, con un incremento di 2,53 ppm rispetto all'anno precedente (dati NOAA). La temperatura media globale è già aumentata di circa 0,8 °C rispetto ai livelli pre-industriali, e, senza interventi addizionali, sono prevedibili ulteriori incrementi da 2,8° C a 4,5° C già entro questo secolo.

Se si volessero portare i 10 miliardi di abitanti della Terra (tanti sono previsti al 2050) a un livello di vita anche solo pari alla metà di quello dell'attuale miliardo più benestante, occorrerebbe probabilmente almeno raddoppiare l'attuale disponibilità di energia. Diviene allora indispensabile una realistica e accurata valutazione di quale potrebbe essere a medio-lungo termine un mix di fonti energetiche che permetta all'umanità di disporre di abbondante energia evitando l'emissione di gas-serra, in particolare la famigerata CO₂.

Il settore dell'energia è la principale sorgente di gas-serra, circa due terzi del totale: 57% dai combustibili fossili più 9% da biomasse e rifiuti). L'effetto-serra conseguente è dovuto per il 76,7% alla CO₂ e per circa il 14,3% al metano (CH₄), trattato in termini del suo CO₂-eq. Il consumo totale di energia continua ad aumentare, guidato dai combustibili fossili che forniscono oltre l'80% del totale dell'energia consumata, una quota che va crescendo dalla metà degli anni 90, a causa dello sviluppo dei grandi Paesi di nuova industrializzazione, che utilizzano largamente il carbone.

La International Energy Agency

(IEA), in un recente rapporto [1], ha preso atto del grave ritardo con cui si avviano le azioni di mitigazione raccomandate dai climatologi, in particolare quelle necessarie per lo scenario che intende limitare i gas-serra a 450 parti per milione di CO₂-eq (*Scenario 450*). Nel rapporto viene così individuato "un programma di emergenza" (*Scenario 4-for-2° C*), basato su quattro tipi di interventi, da attuare su iniziativa dei singoli Paesi prima del 2020, data prevista per l'entrata in vigore di un nuovo accordo internazionale sul clima.

Si tratta, tuttavia, di interventi tutt'altro che facili da attuare, soprattutto da parte dei Paesi ancora in via di sviluppo. D'altra parte, conseguire l'obiettivo dei 2° C in assenza di tali interventi, anche se tecnicamente fattibile, richiederebbe in un futuro non lontano una ampia adozione di costosissime tecnologie capaci di "emissioni negative" di CO₂, cioè in grado di estrarre dall'atmosfera più CO₂ di quanta ne immettano. Per la fine del secolo, infatti, le emissioni nette di CO₂ del sistema energetico dovrebbero ridursi di ben sei volte, passando dagli attuali oltre 30 miliardi di tonnellate all'anno (30 Gt/anno) a non più di 5 Gt/anno.

Qual è la risposta dell'Europa? Puntare sulle energie rinnovabili per sostituire i combustibili fossili non può essere una risposta sufficiente. Anzitutto, è bene ricordare che le nuove rinnovabili (eolica, solare fotovoltaica) contribuiscono essenzialmente all'energia elettrica, cioè un terzo dell'intero fabbisogno energetico (che per il resto si distribuisce tra trasporti, riscal-

damento e termico industriale). Malgrado gli sforzi più ottimistici, l'apporto che le rinnovabili possono offrire – da sole – è quindi molto ridotto e assolutamente non sufficiente a coprire lo zoccolo duro del fabbisogno energetico nazionale (per l'energia elettrica, il cosiddetto carico di base). Vediamo meglio perché.

In termini di energia primaria, la richiesta di potenza mondiale è di circa 15 TW (15 terawatt corrispondono per fare un esempio alla potenza elettrica prodotta da 15.000 centrali di grandi dimensioni). Di questi, circa l'80% deriva da combustibili fossili come carbone, petrolio e gas naturale. Il nucleare fornisce circa il 6%, mentre l'idroelettrico soltanto il 2%. Un ulteriore 10% circa viene fornito dalle biomasse, in gran parte utilizzate nei Paesi arretrati (legna ecc.), senza tecnologie di abbattimento dei fumi, con effetti spesso dannosi per la salute e per l'ambiente.

E le cosiddette "nuove rinnovabili" (eolica, solare fotovoltaica)? Si aggirano sul punto percentuale, ovvero rappresentano una quota irrilevante dal punto di vista della programmazione energetica. Né è pensabile un loro *exploit* significativo, a causa dei loro intrinseci limiti, a oggi ineludibili: necessità di grandi spazi di installazione, impiego di componenti costosi, difficoltà di accumulo dell'energia prodotta in caso di bisogno differito. Soprattutto, esse possono produrre solo energia elettrica, peraltro in modo intermittente e non programmabile, e quindi praticamente non potranno coprire che una frazione

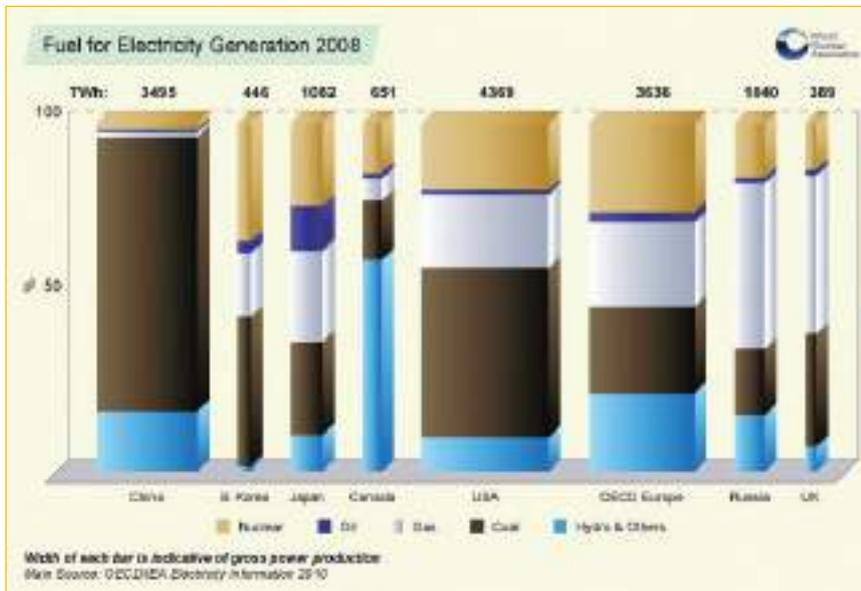


FIGURA 2 Produzione di energia elettrica nel mondo suddivisa per tipo di sorgente: nucleare, petrolio, gas, carbone, idroelettrica e rinnovabili
Fonte: World Nuclear Association 2014 (TWh: terawattora)

della domanda di energia elettrica di un grande Paese industrializzato (Figura 2).

D'altro canto, l'energia elettrica rappresenta non più di un terzo o quarto del consumo di energia primaria: quindi, la riduzione delle emissioni richiederà il massimo impegno nella produzione non solo di energia elettrica, ma soprattutto di combustibili e carburanti, con ridotte o nulle emissioni di carbonio. Ciò porta a concludere che le opzioni energetiche da considerare si limitano a rinnovabili elettriche (anche quelle non programmabili), biomasse, energia nucleare.

Se dunque il contributo finale delle "rinnovabili intermittenti e non programmabili" (eolica, solare fotovoltaica) difficilmente potrà superare il 10% dell'energia primaria totale consumata nel 2035 [1] e se le fonti

rinnovabili tradizionali (idroelettrica e geotermica) e le biomasse sono già sfruttate ove possibile e opportuno ma sono limitate da vincoli geografici e fisici, occorrerebbe allora trovare una sorgente, priva di emissioni di carbonio, che sia in grado di fornire non solo energia elettrica, ma anche calore e carburante, i quali, come visto, rappresentano la maggior parte dei consumi di energia primaria. Questa sorgente esiste ed è proprio l'energia nucleare [6].

Una possibile strategia integrata nucleare-rinnovabili

Non solo rinnovabili, non solo nucleare. Per contemperare opportunamente consumi energetici e rispetto ambientale occorre definire uno scenario a lungo termine

in cui le energie rinnovabili siano integrate nel modo più efficace con l'energia nucleare. In questa prospettiva, uno studio molto autorevole di un gruppo di ricercatori americani del Massachusetts Institute of Technology (MIT) di Boston (normalmente piuttosto critico verso il nucleare), guidato da Charles W. Forsberg, ha proposto di recente (settembre 2011, cioè pochi mesi dopo Fukushima) un programma di sviluppo sostenibile basato su una forte integrazione fra fonti rinnovabili ed energia nucleare [2], in assenza totale di fonti fossili. La prima seria proposta *total carbon free*. Basandosi su dati incrociati in modo molto acuto, Forsberg mette in luce gli enormi costi e le difficoltà tecniche di un piano che preveda solo rinnovabili o solo nucleare. La soluzione ottima potrebbe essere allora un loro impiego sinergico, in grado di coniugare le prerogative di fornitura continua assicurata dal nucleare con l'estrema variabilità stagionale e giornaliera di eolico e solare.

Lo studio parte dall'osservazione che tanto il nucleare quanto le rinnovabili richiedono elevati investimenti in fase iniziale (progetto e costruzione dell'impianto) ma poi garantiscono costi di gestione molto ridotti. La proposta appare allora quasi di buon senso: sfruttare il nucleare *flat out* (a tavoletta) e usufruire dell'apporto delle rinnovabili *as is* (così come viene offerto dalla natura). Il nucleare dovrà essere in grado di coprire almeno il *baseload* (carico di base) della rete elettrica. Le rinnovabili, per definizione non programmabili, fornirebbero un

surplus alla rete da sfruttare opportunamente per coprire il carico intermedio e di picco (funzione anche della stagione).

Ovviamente, dovendo prevedere la possibilità di soddisfacimento di potenze di picco anche in assenza di apporto da rinnovabili, ed escludendo qualsiasi ricorso ai combustibili fossili, il nucleare dovrà essere sovradimensionato. Per valorizzare al meglio l'oneroso investimento richiesto dagli impianti nucleari, l'eccesso di energia così prodotta, in presenza del contributo rinnovabile, dovrà essere utilizzato per produrre energia non destinata alla rete elettrica. Per esempio, in forma elettrica (fino a circa 1/3 della potenza primaria, per gli impianti attuali), per ricaricare impianti idroelettrici ad accumulo o per produrre idrogeno per via elettrolitica (anche elettrolisi ad alta temperatura). L'idrogeno può poi essere utilizzato come tale, o nella sintesi di carburanti da biomasse, o aggiunto nei gasdotti del gas naturale, o addirittura usato in parte per far fronte ai picchi di domanda di energia elettrica.

Ma, ove possibile e opportuno, tale eccesso di energia nucleare può essere utilmente utilizzato, in forma termica (da circa 2/3 fino all'intera potenza primaria, per gli impianti attuali), semplicemente deviando il vapore ad alta temperatura, in uscita dal reattore, dal turboalternatore verso altri usi, per esempio per sfruttare i grandi giacimenti di idrocarburi non convenzionali (in sabbie, scisti) evitando emissioni di carbonio, oppure per produrre combustibili e carburanti da bio-

masse, evitando la combustione delle medesime per fornire calore di processo, o anche infine per riscaldare grandi volumi di sottosuolo, da utilizzare come fonte di energia geotermica in tempi successivi. Per quanto riguarda poi la produzione di biocarburanti, l'energia nucleare può fornire calore di processo e idrogeno alla bioraffineria, evitando la combustione di biomasse a tali scopi, e triplicando quindi la quantità di carburanti liquidi prodotta per una data quantità di biomassa. Carburanti liquidi possono essere anche prodotti partendo dall'anidride carbonica dell'aria e dall'idrogeno dell'acqua, con il calore e l'elettricità forniti da un impianto nucleare. Secondo il rapporto Forsberg, tale opzione potrebbe fornire quantità illimitate di carburante liquido a un costo non superiore a 2-3 volte quello della elettricità per la stessa produzione di calore. Si noti che la filiera dei carburanti a zero-emissioni, utilizzabili nei normali motori

endotermici, potrebbe essere molto più efficace, rispetto alla mobilità elettrica, per la decarbonizzazione generalizzata del settore trasporti, in terra, mare e cielo.

Il nucleare come stabilizzatore del clima

In particolare, l'utilizzo dell'energia nucleare per un miglior sfruttamento delle biomasse (che all'origine sottraggono CO₂ dall'atmosfera) unito alla tecnologia della *Carbon Capture and Storage* (Bio-Energy with Carbon Capture and Storage: BECCS), rappresenta un processo capace di ottenere una rimozione netta di CO₂ dall'atmosfera (a differenza della Carbon Capture and Storage convenzionale applicata alle fonti fossili, che riduce semplicemente le emissioni in atmosfera). Si otterrebbe così un processo capace di "emissioni negative" di CO₂, che, come già detto, potrà divenire essenziale se, come probabile, l'attuale sistema energetico

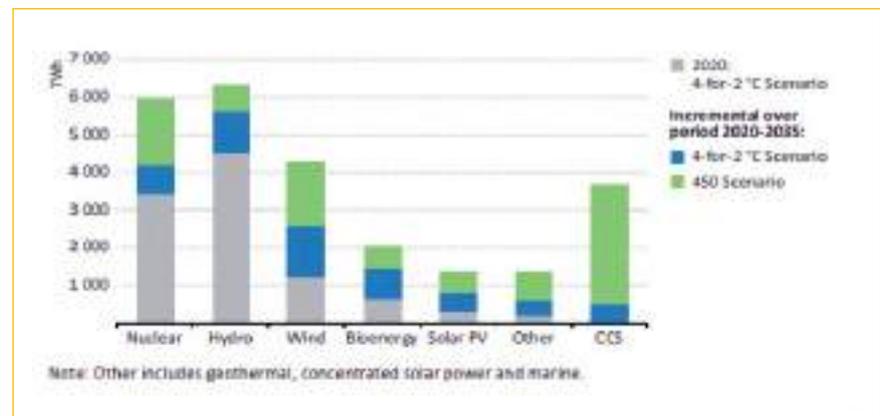


FIGURA 3 Generazione di elettricità a livello mondiale da fonti *low-carbon* come ipotizzato negli scenari IEA [1]

mondiale non riuscirà a stabilizzare le emissioni entro il 2020 per poi ridurle drasticamente nei decenni successivi.

Il ruolo dell'energia nucleare appare quindi essenziale e insostituibile a medio-lungo termine. Il problema del progetto di impianti nucleari sempre più sicuri, in grado di chiudere il ciclo del combustibile, unito alla ricerca di soluzioni affidabili sul lungo periodo per lo stoccaggio dei rifiuti radioattivi, deve essere pertanto messo al centro delle politiche energetiche di ogni Paese, e in particolare di un'Europa che voglia finalmente affrontare il problema energetico da una prospettiva unitaria e non più frammentata e basata sull'esaltazione degli egoismi nazionali.

Nell'ipotesi (ottimistica) che venga attuato lo *Scenario 4-for-2° C* proposto dall'IEA [1], per adeguarsi in seguito allo Scenario 450, è la IEA stessa a ritenere necessario un netto incremento della produzione di energia elettronucleare, da 3400 terawattora (TWh) nel 2020 a 6000 TWh nel 2035 (venti volte l'attuale consumo totale dell'Italia), come è evidente in Figura 3.

Ciò significa disporre al 2035 di una potenza elettronucleare installata di circa 1000 GWe a fronte degli attuali 370 GWe. Tenuto conto dei vecchi impianti da sostituire, ne consegue la prospettiva di dover porre in linea da qui al 2035 circa 500 nuovi impianti nucleari da 1500 megawatt elettrici (MWe) ciascuno. Sempre dalla Figura 3 risulta evidente come per soddisfare lo Scenario 450 sia anche necessario introdurre la Carbon Capture

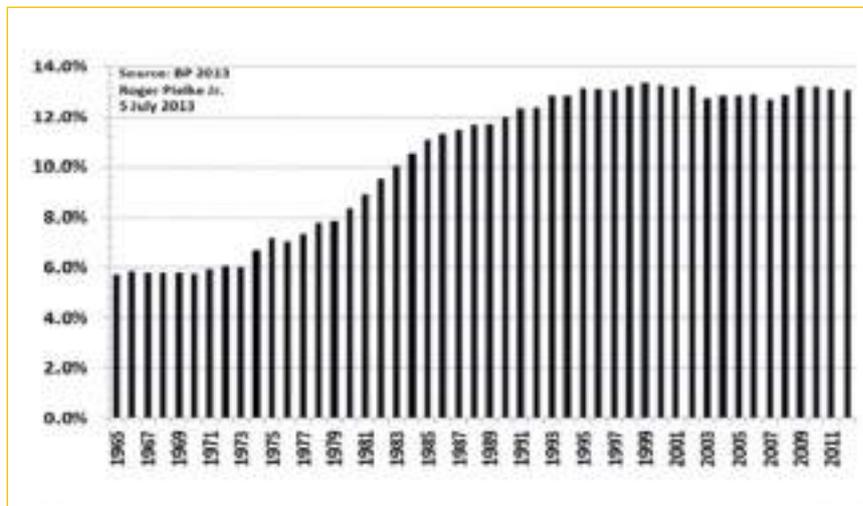


FIGURA 4 Percentuale di consumo energetico a livello globale da sorgenti *carbon-free* dal 1965 al 2012 [4]

and Storage (CCS) per quasi 4000 TWh/anno entro il 2035. Ciò appare estremamente difficile, dato lo stato attuale del tutto immaturo di questa tecnologia, sia dal punto di vista economico che da quello ambientale come ampiamente dibattuto in un recente rapporto del World Energy Council [3]. (Per attuare infatti la CCS per quasi 4000 TWh/anno, oltre ai dispositivi di cattura della CO₂ sugli impianti, occorrerebbe realizzare e gestire una infrastruttura di pozzi, tubazioni e stazioni di pompaggio del tutto paragonabile a quella ora in opera per il petrolio, ma realizzata nel corso di più di un secolo!). Pertanto, per ottemperare allo Scenario 450, occorrerebbe nel 2035 produrre in altro modo ulteriori 4000 TWh/anno privi di emissioni. Essendo le “nuove rinnovabili elettriche” fortemente limitate dai noti vincoli logistici e soprattutto operativi (intermittenza non program-

mabile, che richiede il supporto di quasi altrettanta potenza programmabile di fatto da fonte fossile, o di costosissimi sistemi di accumulo), ed essendo la idroelettrica già fortemente sfruttata almeno nei Paesi sviluppati, non resterebbe che rivolgersi ancora una volta al nucleare, che dovrebbe arrivare a produrre in totale quasi 10.000 TWh/anno.

È anche per questo che più di 50 Paesi stanno utilizzando o costruendo impianti nucleari, o soltanto prendono per la prima volta in seria considerazione l'energia nucleare per la generazione elettrica, ma anche per il teleriscaldamento e la dissalazione dell'acqua di mare. Senza contare quelli già in funzione (circa 430), sommando ai circa 70 impianti nucleari di potenza in costruzione nel mondo altri circa 170 impianti già ordinati o pianificati e più di 300 proposti, si raggiunge un totale che già eccede

de il numero di 500 nuovi impianti, necessari per arrivare all'obiettivo previsto dalla IEA.

Nonostante le nuove costruzioni, tuttavia, la frazione di energia elettrica di origine nucleare nel mondo, che aveva raggiunto il 16% vent'anni or sono, sta scendendo da anni, aggirandosi oggi sull'11%, anche se in valore assoluto l'energia prodotta non è variata di molto. La ragione è che nell'ultimo decennio i consumi elettrici mondiali sono fortemente aumentati, a causa dei grandi Paesi emergenti, come Cina e India, dove la gran parte delle nuove centrali continua a essere alimentata a carbone. Come si vede dalla Figura 4 [4], negli ultimi 40 anni il netto incremento nella frazione di energia da fonti che non emettono carbonio (*carbon-free*) è avvenuta tra il 1965 e il 1999, grazie ad un incremento di 100 volte nella produzione di energia elettronucleare e di 6 volte in quella di energia idroelettrica. Negli ultimi 15 anni, invece, quella frazione è rimasta stabile quando non decrescente, nonostante il grande impegno nello sviluppo delle nuove rinnovabili (sole, vento), e i notevolissimi livelli di potenza installata per queste fonti. Spesso si dimentica tuttavia che una centrale nucleare da 1000 megawatt elettrici può produrre in un anno anche più di otto miliardi di chilowattora (kWh), mentre 1000 megawatt di eolico (cioè almeno 200 torri alte 200 m) o di solare fotovoltaico (cioè almeno 1000 ettari occupati da pannelli), a causa della loro intermittenza produrrebbero in un anno non più di uno o due miliardi di kWh, e richiederebbero

comunque impianti convenzionali o sistemi di accumulo, di potenza paragonabile, per stabilizzare la rete quando calano il sole e il vento. Se quindi si volesse veramente riprendere ad accrescere la frazione di energia da fonti carbon-free, occorrerebbe una forte volontà a livello mondiale per bloccare la costruzione di nuove centrali a carbone, e intraprendere nuovi vasti programmi di costruzione di impianti idroelettrici e nucleari.

La rivista *Nature*, nel suo numero del 6 dicembre 2012 [5], ha pubblicato un approfondimento sui *radical reactors*, cioè sulle architetture di reattori nucleari (a fissione) "radicalmente" diverse rispetto a quella attualmente predominante (la filiera ad acqua leggera, che come noto era stata preferita a suo tempo dall'industria in quanto già utilizzata nei reattori navali militari).

Forse anche proprio in reazione all'incidente di Fukushima, si sta manifestando in tutto il mondo un crescente interesse per queste diverse architetture. Molte di queste architetture in realtà riprendono concetti e modelli sperimentali già acquisiti 50 o 60 anni fa, all'epoca dello "stato nascente" dell'energia nucleare, poi abbandonati per ragioni di politica militare/industriale. Ritorna per esempio l'interesse all'utilizzo del Torio, molto più abbondante dell'Uranio, quale materia prima per il combustibile nucleare (previa sua trasmutazione nell'isotopo fissile Uranio 233).

Nel mondo sono oggi in corso oltre 50 progetti innovativi di questa tipologia, specie in Russia e in USA, mentre l'Europa anche qui

sembra perdere il passo. Molti di questi reattori, di piccole o medie dimensioni e in grado di fornire calore ad alta temperatura, sembrano particolarmente adatti ad inserirsi nello scenario sviluppato presso il MIT [2], con l'obiettivo di integrare le energie rinnovabili con l'energia nucleare. Alcuni di questi nuovi reattori, basati sui neutroni veloci, potrebbero portare un rilevante contributo alla risoluzione di molti problemi dell'attuale "sistema nucleare". Essi infatti moltiplicano di ordini di grandezza l'energia ottenibile dall'uranio naturale. Inoltre possono funzionare bruciando gli attinidi, cioè gli elementi pesanti fortemente radioattivi e di lunga vita generati dall'irraggiamento neutronico del combustibile nucleare nei comuni reattori ad acqua. Resterebbero quindi da sistemare soltanto i prodotti di fissione, molto meno voluminosi e a vita relativamente breve, per i quali basterebbe un deposito semi-superficiale, sia pure ben progettato e costruito. Si noti che, dopo qualche secolo, la radioattività residua sarebbe addirittura inferiore a quella dei minerali di uranio e/o di torio da cui era stato avviato l'intero ciclo del combustibile nucleare, pervenendo così a regime a mantenere, o anzi paradossalmente a ridurre, il "carico" di radioattività naturale del Pianeta Terra (*sic!*).

Conclusioni

La proposta di Forsberg [2] è molto articolata e andrebbe analizzata in modo più dettagliato, anche per vagliarne l'applicabilità al sistema

energetico italiano, che risente di limitazioni naturali e di problematiche strutturali sedimentate, come la capacità della rete di distribuzione elettrica.

Può essere su questa linea il futuro energetico per il nostro Paese? Fermo restando il rispetto dell'esito referendario, perché non impiegare questi anni di silenzio legislativo per studiare un piano energetico nazionale rivoluzionario che non sia pregiudiziale verso nessuna fonte energetica, nucleare inclusa? L'alternativa sarebbe, nella migliore tradizione italiana, arrivare alla pilatesca conclusione di offrire con la mano destra incentivi politicamente corretti, anche se onerosi per gli utenti, alle rinnovabili ma, consci che ciò non garantirà certo il fabbisogno energetico nazionale, firmando al contempo, con la mano sinistra, altrettanto onerosi contratti di approvvigionamento di energia dalle fonti convenzionali di importazione. Cioè, sostanzialmente, ancora una volta, petrolio e gas naturale. Con quello che ne consegue, come è ben evidente da anni nel nostro Paese, in termini di

deindustrializzazione e diminuzione del livello di vita, di dipendenza geostrategica dai Paesi fornitori e di eredità ambientale degradata. Un bagaglio preoccupante da consegnare alle future generazioni.

A livello dell'Unione Europea, poi, come noto, la Commissione ha recentemente annunciato una proposta di politica energetico-ambientale al 2030, che stabilirebbe una riduzione vincolante del 40% rispetto al 1990 per le emissioni di gas-serra (rispetto all'attuale 20% al 2020); non vengono invece posti obiettivi vincolanti per le energie rinnovabili a livello dei singoli Stati membri, mentre resterebbe un obiettivo al 27% per l'Unione nel suo insieme. Questa proposta è ora all'esame dei singoli Governi e dovrà essere approvata dal Parlamento e dal Consiglio dei Ministri prima di divenire vincolante.

La nuova impostazione della Commissione non esclude quindi che l'energia nucleare venga considerata quale opzione essenziale per conseguire i sempre più ambiziosi obiettivi di riduzione delle emissioni di gas-serra (peraltro, ritenuti

tuttora del tutto insufficienti dagli ambientalisti...). Questa nuova apertura tiene conto evidentemente di esempi acquisiti come quelli di Francia e Svezia, che grazie anche al nucleare hanno di fatto annullato le emissioni di carbonio per la produzione di energia elettrica, nonché di altri Paesi che intendono mantenere, ed ampliare, la propria infrastruttura nucleare, come Gran Bretagna, Finlandia e molti Paesi dell'Europa dell'Est, o intraprenderne ex-novo la costruzione, come la Polonia. Perché allora non proporre una politica energetica europea integrata, in cui ciascun Paese sulla base della propria cultura energetica e delle proprie caratteristiche ambientali, offra il proprio contributo di energia da mettere a fattore comune? Una sorta di banca europea dell'energia, in cui ogni Paese offre la propria quota di energia prodotta attraverso la fonte nazionale di elezione (per semplificare: l'Italia attraverso il solare, la Francia attraverso il nucleare, la Germania l'eolico e così via), da ridistribuire a compensazione agli altri Paesi che ne fanno richiesta. ●

immagini

Nelle pagg. 20-21 in alto, una veduta aerea della centrale nucleare di Olkiluoto (Finlandia). Nella parte sinistra dell'immagine, a pag. 20, il reattore nucleare di terza generazione di cui si sta ultimando la costruzione, e che affiancherà i due reattori esistenti.
Fonte: http://it.wikipedia.org/wiki/File:EPR_OLK3_TVO_fotomont_2_Vogelperspektive.jpg
©Teollisuuden Voima Oy
Licenza CC BY-SA 3.0

riferimenti

- [1] "Redrawing the energy-climate map – World Energy Outlook Special Report", International Energy Agency (IEA), 10 June 2013.
- [2] Charles W. Forsberg, "Nuclear Energy for Variable Electricity and Liquid Fuels Production: Integrating Nuclear with Renewables, Fossil Fuels, and Biomass for a Low-Carbon World", MIT-NES-TR-015 - September 2011.
- [3] "2013 World Energy Issues Monitor", World Energy Council – 2013.
- [4] Roger Pielke Jr, "Clean Energy Stagnation", The Breakthrough Institute, 09 July 2013.
- [5] M. Mitchell Waldrop, "Radical Reactors", Nature, 06 December 2012.
- [6] A. Mathis, "Nucleare per il futuro", Collana accademica degli Atti dei Convegni Lincei (ISSN: 0391-805X) – Atti del Convegno internazionale "La sfida dei Terawatt. Quale ricerca per l'energia del futuro?", Accademia Nazionale dei Lincei – Fondazione ENI Enrico Mattei - XXXI Giornata dell'Ambiente (Roma, 5-6 novembre 2013).

La ricerca europea nel settore degli impianti solari termodinamici a concentrazione

Un recente studio compiuto da ENEA, finanziato dalla Commissione Europea nell'ambito del progetto Energy Research Knowledge Center, consente di delineare le tendenze più recenti nell'ambito della ricerca europea nel settore solare termodinamico a concentrazione

DOI: 10.12910/EAI2014-57

■ Massimo Falchetta

Nell'ambito del progetto europeo Energy Research Knowledge Centre (ERKC), finanziato dal 7° Programma Quadro dell'Unione Europea, l'ENEA è stata incaricata di redigere una serie di rapporti descrittivi dei progetti di R&S intrapresi recentemente a livello comunitario o nazionale dai paesi aderenti all'Unione Europea, su 45 temi di ricerca tecnologica in campo energetico, facenti parte di 9 aree di priorità. Questi rapporti, Thematic Research Summaries, saranno inseriti nel portale ERKC, che fa parte dello Strategic Energy Technology Information System (SETIS), e consultabili su [maries. Il tema della tecnologia solare termodinamica a concentrazione è la prima sviluppata, ed è già disponibile. Il presente articolo fa una rassegna dei principali risultati dello studio completo, disponibile anche come rapporto ENEA \[1\].](http://setis.ec.europa.eu/energy-research/content/thematic-research-sum-</p></div><div data-bbox=)

La tecnologia solare termodinamica a concentrazione

Negli impianti solari termodinamici a concentrazione la radiazione solare diretta viene utilizzata per produrre calore ad alta temperatura, impiegabile in processi industriali o, più tipicamente, nella produzione di energia elettrica (Figura 1). Per ovviare alla variabilità della sorgente solare il calore può essere accumulato in sistemi di accumulo termico, ottenendo una produzione più dispacciabile;

in particolare vengono utilizzati serbatoi contenenti miscele di sali fusi (nitrati di sodio e di potassio). In alternativa si può ricorrere all'integrazione con combustibili fossili o prodotti da fonti rinnovabili.

Nel lungo termine un altro settore oggetto di crescente attività di R&S tecnologico è la produzione di idrogeno o di altri combustibili di sintesi per conversione termochimica a partire da calore ad altissima temperatura (tipicamente 750-1.000° C o superiori). Dal punto di vista del meccanismo di captazione e concentrazione, i sistemi a concentrazione solare sono suddivisi in sistemi lineari (parabolici o fresnel) o puntuali (a disco parabolico o a torre centrale); questi ultimi consentono maggiori fattori di concentrazione. Una descrizione sommaria delle quattro tipologie principali è riportata in [2].

■ Massimo Falchetta
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

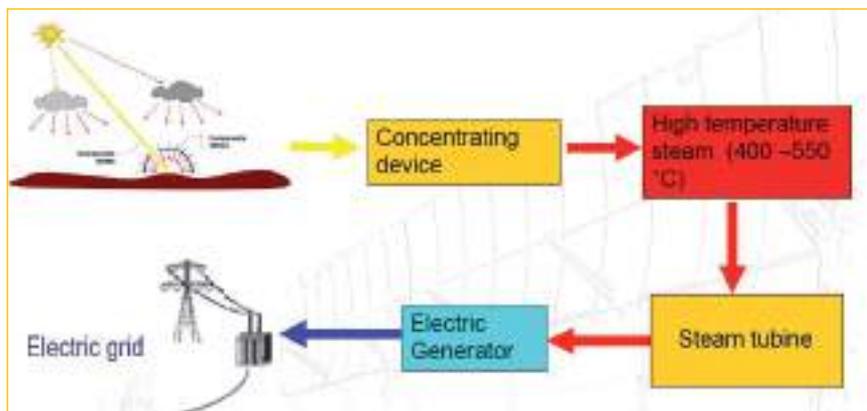


FIGURA 1 Schema di processo tipico di un impianto solare termodinamico a concentrazione per produzione elettrica

Attività di R&S finanziate dall'Unione Europea o dai governi nazionali

I progetti esaminati sono quelli co-finanziati in misura più o meno significativa dai programmi di R&S dell'Unione Europea, in particolare il 7° Programma Quadro (7PQ), o da programmi nazionali di sostegno alla ricerca industriale e dimostrazione in campo energetico. In totale lo studio ha individuato 39 progetti, che sono stati suddivisi in 9 tipologie. Ulteriori informazioni tecniche su alcuni dei progetti sono reperibili in [3] e [4].

R&S sui parabolici lineari

Data la maturità commerciale di questi sistemi di collettori (Figura 2), le attività di ricerca sono ormai in gran parte appannaggio della ricerca industriale, con soluzioni proprietarie per i tubi ricevitori, gli specchi, le strutture e i sistemi di movimentazione. La R&S con sostegno pubblico ha l'obiettivo di elevare la temperatura dagli attuali

390° C a 500-550° C, tramite l'introduzione di ricevitori in grado di operare con sali fusi o in grado di produrre vapore ad alta temperatura e pressione a partire da acqua in pressione (produzione diretta di vapore: progetti GEDIVA e DUKE). Nel campo dei sali fusi, degni di nota il progetto italiano Tubosol, finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico (MSE) e a cui partecipa l'ENEA, che migliora ulteriormente la linea tecnologica ENEA applicata nell'impianto Archimede dell'ENEL [6], e il progetto HITECO, sviluppato in ambito 7PQ. Il governo tedesco ha anche co-finanziato la realizzazione di un prototipo di collettore, Ultimate Trough ([5]), di dimensioni molto maggiori (247 m) di quelle dei prodotti disponibili commercialmente (100-150 m) con l'obiettivo di ridurre del 20-25% i costi di grandi campi solari.

R&S sui sistemi a ricevitore centrale-impianti a torre

Questa tecnologia (Figura 3) inizia

a essere sfruttata commercialmente, soprattutto sulla base dei progressi nel campo dell'informatica e del trattamento delle immagini, utili per controllare individualmente, a basso costo e con grande precisione, il gran numero di specchi (eliostati). Altra tecnologia chiave è quella dei ricevitori ad alta temperatura. Anche in questo settore la ricerca sugli eliostati e il loro controllo è svolta su basi proprietarie, mentre continua il supporto pubblico sui ricevitori, in particolare i ricevitori ad aria per impiego su ciclo combinato con turbina a gas, con l'obiettivo di raggiungere temperature di 1.000° C. Fra i progetti in questo settore Solugas (7PQ) e Hygate (finanziato dal governo tedesco).

R&S sui sistemi fresnel lineari

I sistemi fresnel lineari (Figura 4) stanno entrando nella fase commerciale, per cui molta parte dello sviluppo avviene a livello industriale, proprietario. Progetti con finanziamento pubblico recenti, indirizzati più che altro alla dimostrazione di prototipi, sono tutti co-finanziati dal governo francese: Augustin Fresnel 1, prototipo da 1 MW_e; LFR500, con l'obiettivo di generare vapore direttamente nei ricevitori a temperature di 500° C; eCARE, un impianto dimostrativo pre-industriale da costruire in Marocco, con accumulo termico in grado di fornire 2 ore di produzione e turbina a ciclo organico (ORC).

R&S sui sistemi a disco parabolico

L'applicazione commerciale dei sistemi a disco parabolico (Figura 5) è ancora prototipica.

Il recente progetto OMSOP, finanziato dal TPQ e a cui partecipa l'ENEA, mira a sviluppare e testare una nuova soluzione da 3-10 kW_e di potenza, basata sull'impiego di un ricevitore solare accoppiato a un sistema di conversione a ciclo

Brayton, composto da compressore e turbina ad aria, il tutto integrato sul fuoco del disco.

R&S sull'accumulo termico e sui fluidi termovettori

L'accumulo è una prerogativa sem-

pre più richiesta al fine di aumentare la dispacciabilità della produzione, svincolando gli impianti solari che l'adottano dall'andamento variabile dell'irraggiamento ed è quindi oggetto di molte attività. Fra i progetti più recenti: OPTS, finanziato dal TPQ e guidato da ENEA, in cui le proprietà di stratificazione termica dei sali vengono sfruttate per realizzare un unico serbatoio, al posto di due, che contiene anche il generatore di vapore; CSP2, finanziato dal TPQ, che mira a sviluppare un nuovo fluido termovettore composto da una sospensione gassosa densa di particelle, in grado di operare nella gamma 100-1.000° C; STARS, finanziato dal governo francese, per l'accumulo da accoppiare a sistemi fresnel lineari per produzione diretta di vapore. Restructure, TCS Power e StoRRe, tutti finanziati in ambito TPQ, esplorano invece reazioni termochimiche reversibili.

R&S nel campo dei prototipi e nuovi concetti di impianto

La ricerca in questo campo si focalizza nel realizzare prototipi di impianto o nuovi concetti impiantistici, che generalmente comportano impianti multi-input (solare e combustibili fossili o biomasse) e/o multi-output (elettricità, calore e freddo e acqua dissalata), e un sistema di accumulo. Su questa linea ARCHETYPE-SW550 co-finanziato in ambito TPQ, guidato da ENEL-GreenPower e a cui partecipa l'ENEA, applicazione della tecnologia Archimede a un impianto da 20-30 MW_e; MATS, a guida ENEA, finanziato in ambito TPQ, con un generatore di vapore integrato in un serbatoio a sali fusi stratificante a



FIGURA 2 Impianto commerciale a collettori parabolici lineari (SEGS – USA)



FIGURA 3 Prototipo di impianto a torre Solar Two (USA)



FIGURA 4 Impianto a collettori lineari Fresnel (Novatec)

550° C; HYSOL, finanziato dal 7PQ e cui partecipa l'ENEA, prototipo a scala pre-industriale di un concetto ibrido (solare-biogas/syngas) con turbina a gas di derivazione aeronautica; SOLMASS CSP, finanziato in ambito European Industrial Initiative, sistema a torre da 4 MWe. Altri progetti mirano a sistemi modulari di piccole dimensioni (micro-CSP): DIGeSPO, STS-MED e MICROSOL. E2PHEST2US, finanziato in ambito 7PQ, a guida italiana, adotta un approccio non convenzionale basato sulla conversione diretta termoelettrica a 800-1.000° C. Infine MACCSOL, finanziato in ambito 7PQ, si focalizza su un condensatore a secco (dry-cooling) che ridurrà drasticamente il consumo d'acqua del ciclo termodinamico, per applicazioni in zone aride.

Infrastrutture di ricerca e supporto di base alla R&S

Il supporto pubblico alla R&S si basa anche sulla realizzazione e manteni-

mento delle infrastrutture di ricerca, necessarie soprattutto per supportare lo sviluppo di ricevitori solari ad alta temperatura (1.500-3.000° C) da utilizzare soprattutto nelle attività di chimica solare. Fra questi, SFERA, finanziato dal 7PQ, che ha coinvolto varie infrastrutture di ricerca europee, fra cui l'impianto PCS dell'ENEA; EU-SOLARIS, più recente e finanziato in ambito 7PQ-Infrastructures che prevede una nuova infrastruttura di ricerca comune in Spagna. Inoltre il programma "Solare Termodinamico" finanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico italiano (MSE), finalizzato a sviluppare nuove configurazioni di impianto e nuovi rivestimenti selettivi per i tubi ricevitori.

R&S nel campo della chimica solare

La chimica solare ha l'obiettivo principale di produrre combustibili di sintesi a partire da energia solare concentrata - combustibili solari, con reazioni termochimi-

che, al fine di accumulare energia solare a lungo termine in "vettori energetici" quali idrogeno (H_2) ottenuto dalla scissione dell'acqua o syngas (miscela di H_2 e CO , con quantità variabili di metano (CH_4) e CO_2). I progetti più recenti sono: SOLHYCARB (FP6); HYDROSOL-3D, finanziato dall'Hydrogen and Fuel cell Joint Undertaking; TEPSI, italiano a guida ENEA, che ha sviluppato a scala di laboratorio i cicli termochimici zolfo-iodio e manganese-ferrite; CONSOLI+DA, finanziato dal governo spagnolo, che ha sviluppato tutta una serie di tecnologie nel settore solare termodinamico, fra cui nel campo termochimico una serie di reazioni con ferriti; Hycycles e SOL2HY2 (7PQ) sulle reazioni zolfo-iodio (SI) e la zolfo ibrida (HyS); CoMETHy (7PQ) a guida ENEA, che mira a sviluppare uno steam-reformer per temperature relativamente basse (500° C). Per finire ENEXAL (7PQ) per la produzione di alluminio primario tramite riduzione dell'allumina.

R&S nel campo della misura e previsione della risorsa solare

La misura e la previsione (con orizzonti da pochi minuti ad alcuni giorni) della risorsa solare assumono importanza crescente per la progettazione e la conduzione di impianti solari termodinamici. Il dato più importante, la radiazione diretta, non è infatti normalmente misurato dalle normali stazioni meteorologiche. Fra i progetti recenti: MESoR, finanziato da FP6, con l'obiettivo di realizzare un portale sulle risorse solari orientato all'utente e MACC-II, finanziato da 7PQ, che



FIGURA 5 Impianti a dischi parabolici

riunisce un consorzio di 36 membri, coordinati dal Centro Europeo per le Previsioni meteorologiche (ECMWF).

Conclusioni

La ricerca sui sistemi solari termodinamici è focalizzata principalmente alla riduzione dei costi

dell'energia.

Ciò si traduce in obiettivi tecnologici molteplici:

- riduzione dei costi dei componenti e dell'impianto
- aumento delle temperature operative
- aumento delle prestazioni, dell'affidabilità e della vita utile
- sfruttamento delle potenzialità di

ibridazione e cogenerazione

- aumento e valorizzazione della dispacciabilità della produzione
- commercializzazione delle soluzioni per la chimica solare.

A tal fine, le nuove soluzioni in fase di studio e sviluppo sono:

- l'introduzione di nuovi tipi di fluido termovettore
- l'introduzione di nuove tecnologie di accumulo termico
- lo sviluppo di ricevitori per alta temperatura (lineari e puntuali)
- lo sviluppo di nuove configurazioni di impianto
- l'introduzione di nuovi tipi di reazioni chimiche, sia per l'accumulo termochimico che per la chimica solare.

Altri aspetti più legati a un approccio sistemico, quali la valorizzazione dell'accumulo termico in rapporto alla rete elettrica e in rapporto alle previsioni meteo, acquisteranno importanza man mano che la penetrazione nella rete di fonti rinnovabili non controllabili (quali eolico e fotovoltaico) diverrà sempre più significativa. ●

- [1] M. Falchetta, A. Fidanza, L. G. Giuffrida - La ricerca europea nel settore Solare Termodinamico – ENEA/UTRINN-2013/19 – 2013.
- [2] www.solarpaces.org
- [3] Richter, C., Blanco, J., Heller, P., Mehos, M., Meier, M., Meyer, R., SolarPaces, Annual Report 2009, IEA, Cologne, 2010.
- [4] Richter, C., Blanco, J., Heller, P., Mehos, M., Meier, M., Meyer, R., SolarPaces, Annual Report 2010, IEA, Cologne, 2011.
- [5] Schweitzer, A., Schile, W., Birkle, M., Nava, P., Riffelmann, K.-J., Wolfahrt, A., Kuhmann, G., Ultimate Trough – fabrication, Erection and Commissioning of the World's largest parabolic trough Collector, Proc. SolarPaces 2013 Conference, Las Vegas 17-20 September 2013; to be published 2014 in Energy Procedia (Elsevier).
- [6] Consoli, D., Crescenzi, T., Falchetta, M., Liberati, G., Malloggi, S., Mazzei, D., "Commissioning of the Archimede 5 MW molten salt parabolic trough solar plant", in Proc. of SolarPaces 2010 Conference, September 20-24th 2010, Perpignan.

Impatto ambientale dei rifiuti fotovoltaici

Il solare fotovoltaico continua a prosperare in Europa e nel mondo. Tuttavia, non va trascurato un problema che si associa sempre più ai pannelli fotovoltaici: la gestione dei rifiuti che ne derivano.

Il Centro Ricerche ENEA di Portici è impegnato in attività sperimentali aventi lo scopo di valutare l'impatto ambientale dei pannelli nella fase di *end life*

DOI: 10.12910/EAI2014-58

■ Marco Tammaro, Antonio Salluzzo, Sonia Manzo, Carlo Privato

Le prime anticipazioni del V rapporto dell'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), che sarà ufficializzato a fine 2014, non lasciano spazio a dubbi: le conseguenze del riscaldamento globale si stanno già manifestando e, senza invertire la tendenza, le conseguenze sarebbero presto molto pesanti anche in Europa, nel Mediterraneo e in Italia in particolare. Alluvioni lampo, desertificazione e conseguente riduzione delle produzioni agricole, distruggerebbero l'economia delle regioni meridionali con un costo sociale devastante.

La direzione da prendere passa sicuramente attraverso la riduzione dei consumi e la diffusione delle fonti energetiche rinnovabili. Si può, quindi, facilmente prevedere che il solare fotovoltaico (PV), la tecnologia di più recente maturazione, continuerà a prosperare in Europa e nel mondo.

Tuttavia, non va trascurato un problema che si associa sempre più

al PV, soprattutto in Europa data la notevole crescita registrata (80 GW installati alla fine del 2013 di cui oltre 10 GW, pari ad almeno 50 milioni di moduli, solo nell'ultimo anno): la gestione dei rifiuti che ne derivano. I moduli PV generano energia elettrica sfruttando la fonte solare e per questo sono da sempre considerati *eco-friendly*, tuttavia, negli ultimi anni l'impatto ambientale dei cicli di vita dei pannelli fotovoltaici ha attirato l'attenzione del mondo scientifico [1, 2, 3, 4, 5]. La vita di un pannello fotovoltaico può essere suddivisa in tre fasi: costruzione, produzione energetica e fine vita (*end life*).

La fase di *costruzione* è sicuramente critica dal punto di vista ambientale perché prevede l'utilizzo di diversi materiali e sostanze, liquide, solide e gassose [6, 7], che presentano elevati rischi per la salute umana, come mostrato nella Tabella 1.

Quelli indicati in tabella sono rischi che, almeno nei paesi occi-

dentali, sono normalmente gestiti attraverso adeguate misure di prevenzione e protezione. Comunque è importante riportarli per sottolineare il livello di attenzione che si deve dedicare alla problematica.

La seconda fase, la produzione energetica, può dar luogo ad emissioni di sostanze inquinanti a causa di eventi accidentali, come incendi e/o distruzione [8], oltre a causare depauperamento delle terre agricole o da allevamento. Inoltre non è secondario l'impatto visivo ed architettonico in un paese come l'Italia, ricco di tesori d'arte e paesaggi naturali.

La fase *end life* sta assumendo un'importanza crescente dovuta alla previsione di aumento di rifiuti fotovoltaici [9], a cui si lega anche la possibilità di riciclare i materiali [10, 11], come conseguenza diretta dell'aumento di installazioni

■ Marco Tammaro, Antonio Salluzzo, Sonia Manzo, Carlo Privato
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Portici

Materiali	Fase di processo in cui è usato	Pericolosità ed effetti sulla salute umana
Gallio Arenseno	Chemical Vapour Deposition (CVD) (celle a concentrazione)	Cancerogeno. Sangue, reni, polmoni
Cadmio	CdTe e CdS deposizione CdCl ₂ trattamento	Cancerogeno. Reni
Cloro-silano	a-Si e c-Si deposizione	Irritante
Diborano Germano Fosfina	a-Si dopaggio, deposizione	Sistema Nervoso Centrale Sistema Gastrointestinale Reni, sangue, polmoni
Ossicloruro di fosforo	c-Si dopaggio	Irritante. Reni
Idrogeno silano	a-Si deposizione	Irritante, infiammabile.
Fluoruro di idrogeno Tetracloruro di carbonio	Etching	Irritante, cancerogeno, gas serra. Ossa, denti, fegato
Seleniuro di idrogeno Idrogeno solforato	CIS trattamento	Irritante, infiammabile. Sistema Nervoso Centrale Sistema Gastrointestinale
Indio Tellurio Selenio Rame	CIS deposizione	Irritante. Fegato, polmoni, ossa Sistema Nervoso Centrale Sistema Gastrointestinale
Piombo Stagno Molibdeno Argento	Contattatura	Sistema Nervoso Centrale Sistema Gastrointestinale Sangue, organi riproduttivi, reni
Acido nitrico Idrossido di sodio	Lavaggio wafer	Irritante, corrosivo

TABELLA 1 Materiali e sostanze usate nella fabbricazione dei pannelli fotovoltaici e suoi effetti sulla salute umana
Fonte: elaborazione ENEA su dati di Fthenakis [1]

[12, 13]. Il caso del rifiuto fotovoltaico è unico perché il tempo che intercorre tra la fabbricazione del prodotto e lo smaltimento del rifiuto è molto lungo, di solito 25-30 anni [14]. Questa peculiarità rappresenta una criticità non secondaria nella problematica di gestione del rifiuto. Infine concorrono a formare la massa di rifiuto anche i pannelli rotti durante le fasi d'installazione (stimati intorno al 2%) e gli scarti di produzione (stimati intorno al 1-2%).

Principali elementi tossici contenuti nei moduli

Ci sono vari tipi di celle fotovoltaiche che differiscono sostanzialmente per i materiali semiconduttori utilizzati e per le tecnologie di produzione. Si è soliti fare una distinzione tra la tecnologia a silicio cristallino e quella a film sottile. Per il primo, il semiconduttore utilizzato è il silicio cristallino (c-Si), di cui ci sono due tipi principali utilizzati per le celle fotovoltaiche:

- monocristallino: fette spesse ~200

µm derivate da un lingotto monocristallo; elevato grado di purezza del materiale;

- policristallino: fette spesse ~200 µm derivate da un lingotto a struttura cristallina con più grani a differente orientazione; grado di purezza inferiore.

Nelle celle a film sottile il materiale semiconduttore, spesso qualche micron, è generalmente depositato su un substrato di vetro. I tipi principali possono essere suddivisi come segue:

Tecnologia Fotovoltaica	Metalli
Silicio cristallino	Stagno, Piombo, Rame, Boro, Fosforo, Titanio, Argento, Alluminio
Silicio amorfo e microcristallino	Stagno, Piombo, Indio, Germanio, Zinco, Boro, Fosforo, Rame, Argento, Alluminio, Cromo
CdTe	Cadmio, Tellurio, Stagno, Indio, Rame, Piombo, Zolfo, Piombo, Argento
CIGS	Molibdeno, Rame, Indio, Gallio, Selenio, Cadmio, Zinco, Boro, Piombo, Argento, Alluminio

TABELLA 2 Elementi pericolosi presenti nei moduli fotovoltaici delle diverse tecnologie
Fonte: elaborazione ENEA su dati da varie fonti

- silicio amorfo (a-Si): gli atomi di silicio usati come semiconduttore sono inseriti in un reticolo disordinato, come in un liquido, pur mantenendo le caratteristiche dei solidi;
- CIS/CIGS: il materiale semiconduttore è un composto policristallino, composto da rame, indio, selenio per il CIS e da rame, indio, gallio e selenio per il CIGS;
- CdTe: il semiconduttore è un composto policristallino di tellurio di cadmio.

I materiali e i processi utilizzati nella fabbricazione dei moduli fotovoltaici determinano la presenza in essi, anche se sempre in quantità modeste, di diversi elementi classificati come pericolosi. La preoccupazione principale riguarda la presenza di cadmio nei moduli a film sottile [6, 15], e di piombo e cromo nei moduli in c-Si [2, 16].

A fine vita, senza una gestione adeguata dei pannelli, questi metalli potrebbero essere dispersi nell'ambiente. In caso di deposito in discarica senza altre precauzioni o peggio se abbandonati nell'ambiente, potrebbero verificarsi rotture meccaniche dei pannelli con perdita della sigillatura e conseguente pe-

netrazione di acqua e aria. Questo determinerebbe un deterioramento dei componenti e quindi un possibile rilascio di elementi pericolosi nell'ambiente circostante, con effetti potenzialmente molto dannosi sulla salute umana. Nella seguente tabella sono elencati gli elementi potenzialmente dannosi presenti nei moduli delle diverse tecnologie.

Normativa di riferimento

La Commissione europea, con la Direttiva n.2008/98/CE del 19 novembre 2008 (Gazzetta Ufficiale Europea del 22 novembre 2008) definisce rifiuto "(...) qualsiasi sostanza od oggetto di cui il detentore si disfi o abbia l'intenzione o l'obbligo di disfarsi". Il D.M. 205 del 2010, che integra e modifica il DLgs 152/2006, esattamente all'art. 183 introduce una nuova definizione di rifiuto pe-

ricoloso: "Rifiuto che presenta una o più caratteristiche di cui all'Al. I della parte quarta del presente decreto". L'allegato I presenta un elenco di caratteristiche di pericolo, identificati dalla lettera H seguita da un numero. In particolare la caratteristica H14, "Ecotossico" recita: "Rifiuti che presentano o possono presentare rischi immediati o differiti per uno o più comparti ambientali".

Il 24 luglio 2012 è stata pubblicata, sulla Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea, la Direttiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 4 luglio 2012 sui Rifiuti di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche (RAEE). Questa sostituisce la Direttiva 2002/96/CE ed include anche i moduli fotovoltaici nell'elenco degli AEE (Categoria 4). La suddetta direttiva, in linea con la politica comunitaria delle ultime decadi sul trattamento dei rifiuti,

Periodo	Riciclaggio (%)	Recupero (%)
Dal 13/08/2012 al 14/08/2015	65	75
Dal 15/08/2015 al 14/08/2018	70	80
Dal 15/08/2018	80	85

TABELLA 3 Percentuali di riciclaggio e recupero fissati dalla Direttiva 2012/19/UE
Fonte: Direttiva 2012/19/UE



privilegia il recupero ed il riciclaggio dei materiali che compongono i moduli, rispetto al conferimento in discarica. Nella seguente tabella sono illustrati gli obiettivi fissati dalla Direttiva.

Il Decreto "Attuazione della Direttiva 2012/19/UE sui rifiuti di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE)", di recepimento da parte dell'Italia della suddetta Direttiva, è datato 14 marzo 2014 ed è entrato in vigore il 12 aprile 2014. Indicazioni sul recupero dei pannelli fotovoltaici erano contenute anche nel D.M. del 5 maggio 2011 (il cosiddetto "quarto conto energia") che all'art. 11 indica, tra gli obblighi del soggetto responsabile per gli impianti entrati in funzione dopo il 30 giugno 2012, anche di trasmettere al GSE il "certificato rilasciato dal produttore dei moduli fotovoltaici, attestante l'adesione dello stesso a un sistema o consorzio europeo che garantisca, a cura del medesimo produttore, il riciclo dei moduli fotovoltaici utilizzati al termine della vita utile dei moduli". Questa disposizione è stata rafforzata con il D.M. del 5 luglio 2012 (il "quinto conto energia") che all'art. 7 stabilisce, tra l'altro, come "i moduli fotovoltaici devono essere prodotti da un produttore che aderisce a un sistema o consorzio europeo che garantisca il riciclo dei moduli fotovoltaici utilizzati al termine della vita utile dei moduli; l'attestazione è rilasciata dal sistema o consorzio di riciclo; per i moduli importati, l'adesione può essere effettuata dall'importatore; il GSE definisce, nell'ambito delle regole applicative di cui all'articolo 10,

comma 5, i requisiti da richiedere ai sistemi o consorzi ai fini del rilascio dell'attestazione".

Quadro generale della potenza fotovoltaica installata in Italia

L'evoluzione dell'industria e della potenza fotovoltaica installata in Italia è stata dettata dai diversi interventi legislativi volti a favorirne la diffusione e che si sono succeduti a partire dai primi anni 80. I principali *milestone* di questa storia sono i seguenti:

- Legge 308 del 29/5/82 per l'elettificazione rurale.
- Anni 90 - Impianti dimostrativi finanziati con diversi strumenti tra cui il Programma Valoren e il Programma THERMIE.
- Programmi nazionali e regionali "Tetti Fotovoltaici", Decreto 16/3/2001 del Ministero dell'Ambiente (Incentivazione in conto capitale) e segg.
- DLgs n.387 del 29/12/2003, Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.
- Decreti attuativi del 28/7/2005 e del 6/2/2006, 1° Conto Energia.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 19/2/2007, 2° Conto Energia.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 6/8/2010, 3° Conto Energia.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 5/5/2011, 4° Conto Energia.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo Economico del 5/7/2012, 5° Conto Energia.

In realtà, come si può vedere dalla Figura 1, si può parlare di una vera e propria diffusione del fotovoltaico solo con l'introduzione anche in Italia del concetto di incentivazione in conto energia, analogamente a quanto avvenuto in altri Paesi in precedenza (Germania). Il pagamento, per un periodo molto lungo (20 anni), di una tariffa ritenuta remunerativa e fissa nel tempo per ogni kWh prodotto e immesso in rete dagli impianti *grid connected* ha favorito la nascita di piccoli e grandi nuovi produttori di energia distribuiti su tutto il territorio nazionale. I programmi incentivanti hanno in parte consentito anche lo sviluppo di un'industria italiana di moduli fotovoltaici che ha avuto il suo picco produttivo nel 2011; poi il crollo dei prezzi dovuto al crescente divario tra offerta e domanda sul piano internazionale ha messo in crisi queste giovani aziende, molte delle quali hanno dichiarato bancarotta, o sospeso la produzione.

Previsioni su quantità di rifiuti prodotti da pannelli a fine vita

La generazione di rifiuti derivanti dai pannelli fotovoltaici a fine vita presenta una correlazione diretta con la crescita del mercato fotovoltaico. Tuttavia quantificare con esattezza l'entità dei rifiuti prodotti è difficoltoso a causa di diversi elementi di incertezza.

Trascurando gli scarti dovuti a difetti di fabbricazione, guasti o danneggiamenti, i principali fattori che influenzano le quantità di rifiuti generati nel tempo e su cui si basano in genere le previsioni, sono:

- entità delle installazioni annuali;
- peso per MW_p ;
- durata della vita utile.

La vita utile dei moduli è teoricamente infinita in quanto non vi sono parti meccaniche in movimento, però, a causa del naturale degrado dei materiali, dopo 25-30 anni le loro prestazioni diventano molto basse. Le principali cause di tale diminuzione delle performance sono da ricercarsi nella penetrazione di umidità, nella delaminazione dell'incapsulante e nell'ossidazione dei contatti elettrici. La letteratura di settore riporta stime che fissano una produzione di rifiuto di circa 70-80 t per ogni MW_p installato. Partendo da questa equivalenza ed ipotizzando una durata massima di funzionamento di 25 anni, dai dati sull'installato in Italia (Figura 1), si possono ottenere le previsioni di quantità di rifiuto generato nei prossimi anni. Nella Figura 2 sono riportati i dati, fissando una produzione di 80 t di rifiuto per ogni MW_p installato.

Come si vede dalla Figura 2, l'anno 2030 è quello in cui dovrebbe avvenire la variazione della pendenza della curva di crescita dei rifiuti. Questo è in linea con le previsioni su scala mondiale [9], che prevedono un incremento rilevante proprio dopo il 2030. Nella Figura 3 è riportata una previsione, effettuata nel 2011, di rifiuti fotovoltaici prodotti in Europa suddivisi per tecnologia [17]. Per CPV s'intende il fotovoltaico a concentrazione, mentre le tecnologie emergenti comprendono le cosiddette celle solari fotosintetiche, le celle organiche ed infine quelle ibride.

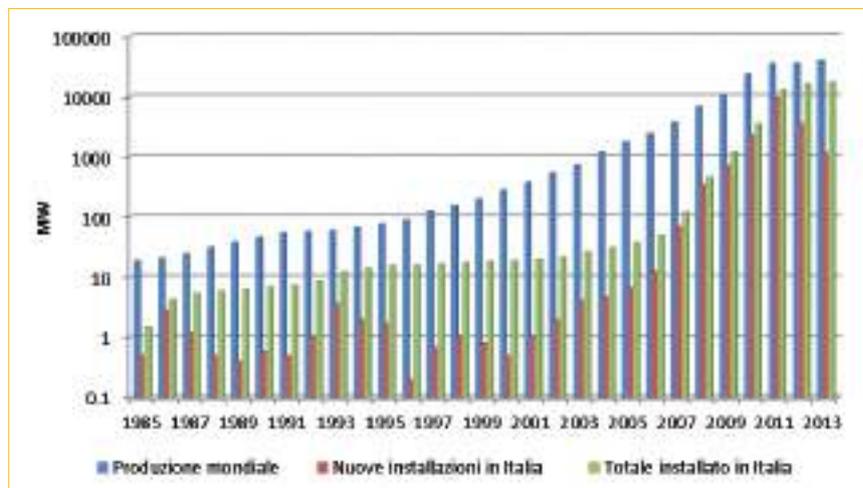


FIGURA 1 Quadro della potenza fotovoltaica installata in Italia dal 1985 al 2013, confrontato con la produzione mondiale

Fonte: ENEA, IEA, PVNews, Solar Energy Report

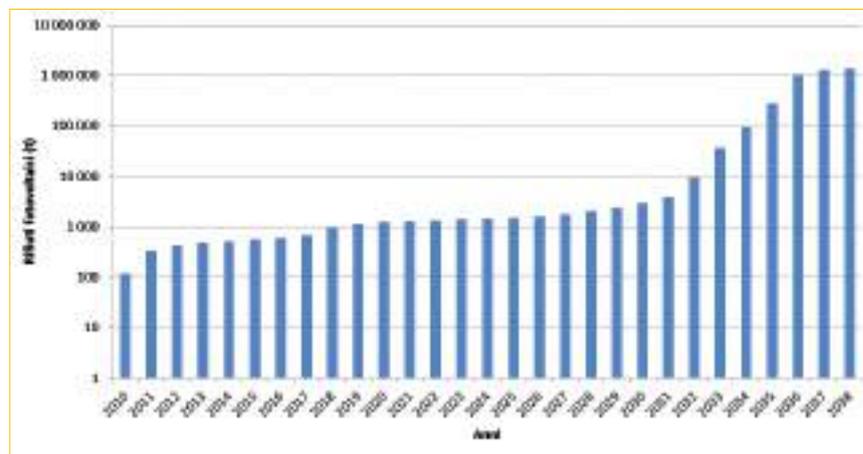


FIGURA 2 Previsioni sui rifiuti fotovoltaici prodotti in Italia a partire dai dati sulla potenza installata

Fonte: elaborazione ENEA su dati IEA, PVNews, Solar Energy Report

Attività sperimentali su impatto ambientale dei pannelli a fine vita

Da alcuni anni, il Centro Ricerche ENEA di Portici è impegnato in attività sperimentali con lo scopo di valutare l'impatto ambientale dei pannelli fotovoltaici durante la fase

di *end life* [18, 19, 20, 21, 22]. In tale ambito, uno studio, finanziato dal Consorzio COBAT, ha permesso di valutare il rilascio di metalli nell'ambiente da parte di pannelli danneggiati e di verificarne l'effetto ecotossicologico. Allo scopo di esaminare un campione significa-

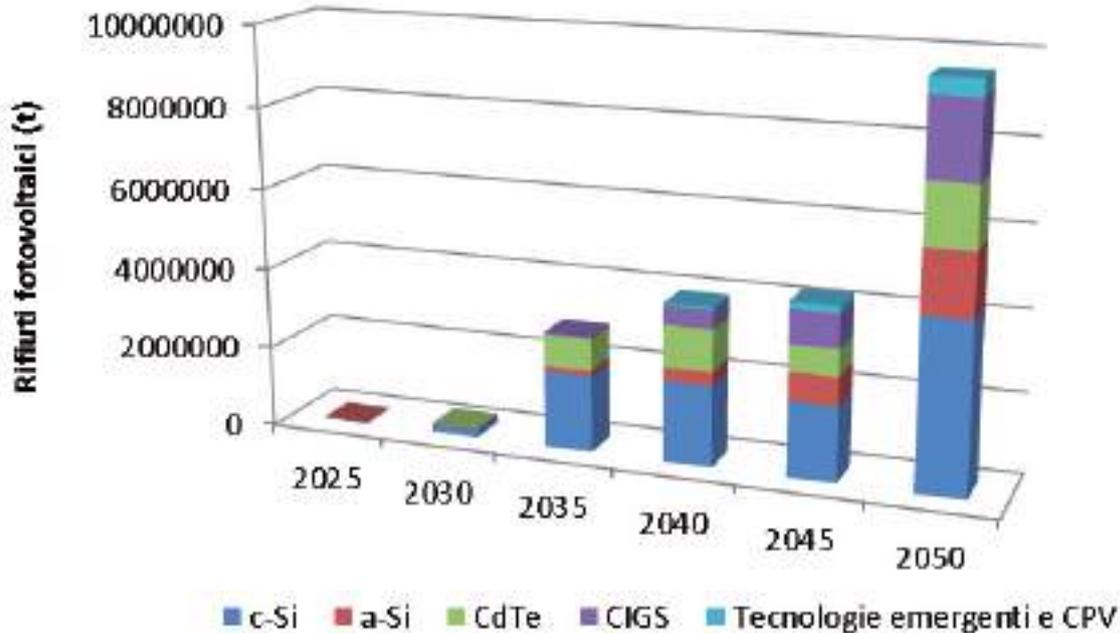


FIGURA 3 Previsione sui rifiuti fotovoltaici prodotti in Europa e suddivisi per tipologia
Fonte: Rapporto finale progetto europeo [17]

tivo dei moduli installati in Italia, sono stati utilizzati 48 pannelli, di produzione sia italiana che estera, raggruppati in 34 tipologie che si distinguono l'una dall'altra in base ad una delle seguenti caratteristiche: produttore, tecnologia, dimensioni cella fotovoltaica, provenienza materiali, anno di produzione. Le suddette tipologie sono state poi divise in due gruppi, in base alla tecnologia costruttiva: tecnologia cristallina (36 pannelli corrispondenti a 26 tipologie diverse) e film sottile (12 pannelli corrispondenti a 8 tipologie diverse). I moduli in silicio cristallino sono stati

suddivisi in 4 sottogruppi in base all'arco temporale di produzione (1985-1986, 1992-1997, 2005-2010 e 2011-2012). Il gruppo dei moduli a film sottile è stato prodotto nell'arco temporale che va dal 1993 al 2011. Non ci sono moduli degli anni ottanta in quanto la produzione con la tecnologia a film sottile di quel periodo non è stata rilevante. Nell'individuazione della campionatura si è tenuto conto di alcune considerazioni:

- la percentuale delle installazioni con tecnologie a film sottile in Italia (6%) è sempre molto inferiore a quella corrispondente

alla produzione mondiale;

- anche se una buona parte della produzione nazionale degli ultimi anni è stata utilizzata per installazioni in Italia, essa non può coprire che una quota inferiore al 10% del totale installato;
- la quota restante è stata realizzata con moduli europei per una quota tra il 30 e il 40%, e per il resto con moduli prevalentemente cinesi e in parte giapponesi.

Di seguito sono riportate due figure in cui i pannelli usati per lo studio sperimentale di impatto ambientale sono raggruppati, in numero, oltre che per tecnologia, anche per

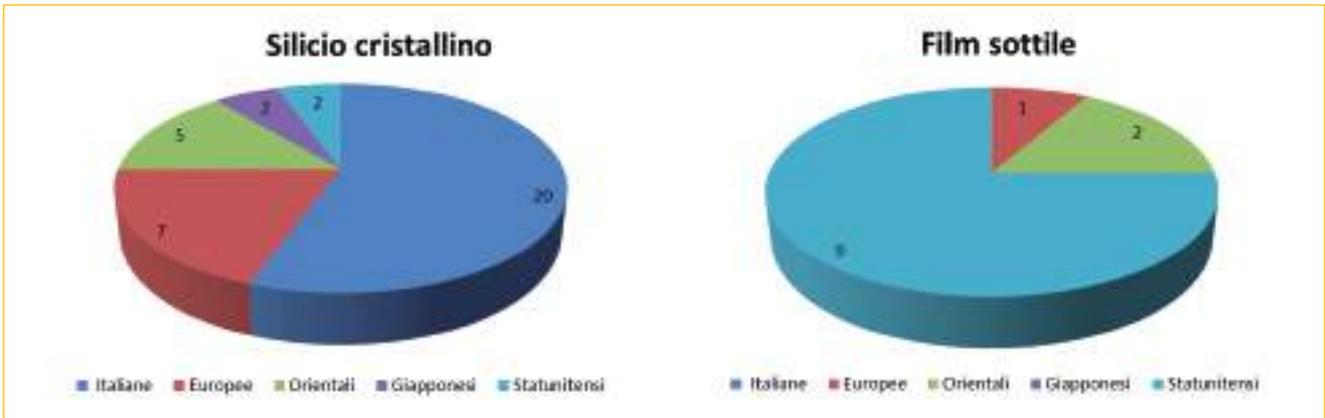


FIGURA 4 Distribuzione dei pannelli in base alla tecnologia e provenienza geografica
 Fonte: elaborazione e dati ENEA

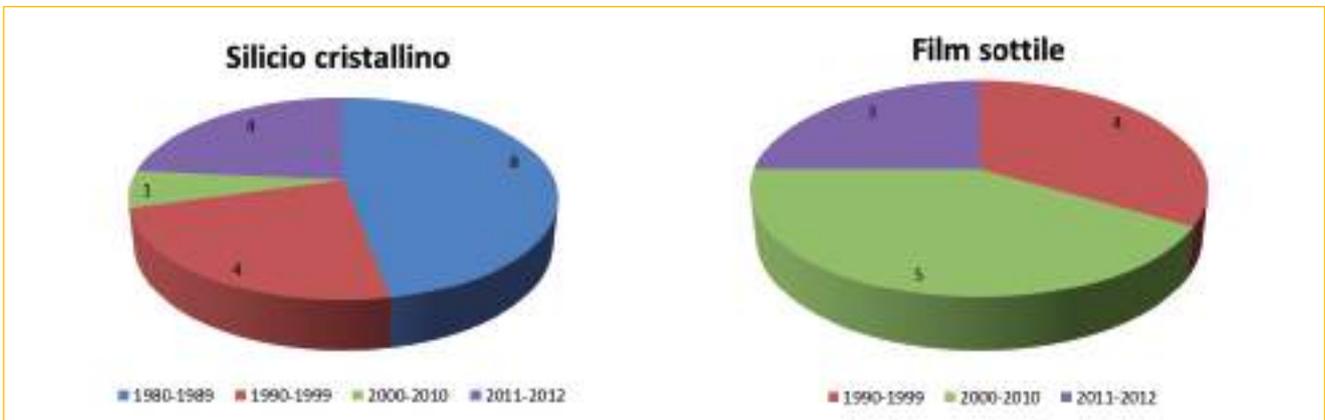


FIGURA 5 Distribuzione dei pannelli in base alla tecnologia ed anno di fabbricazione
 Fonte: elaborazione e dati ENEA

provenienza geografica (Figura 4) e per anno di fabbricazione (Figura 5). Infine il Centro Ricerche ENEA di Portici partecipa, con un ruolo di primo piano, al progetto “Dispositivi, tecniche e tecnologie abilitanti per le Fonti Energetiche Rinnovabili verso la Green Economy” (FERGE), che si colloca nell’ambito del Distretto Alta Tecnologia (DAT) “Smart Power System” della Regione Campania (finanziamento MIUR). Nell’ambito

del progetto è prevista una linea di ricerca “Riciclo dei moduli fotovoltaici a fine vita e recupero sostenibile delle materie prime”, che si propone di contribuire a sviluppare modalità di integrazione dei sistemi produttivi e distributivi con processi di raccolta, trattamento e recupero dei moduli fotovoltaici a fine vita e dei materiali/componenti in esso contenuti. In particolare le attività di ricerca e sviluppo prevedono anche test sperimentali

in laboratorio ed analisi LCA, come strumenti per la valutazione dell’impatto ambientale.

Conclusioni

I risultati dello studio sperimentale sul rilascio di metalli e i loro effetti sugli organismi viventi sembrano confermare i motivi di attenzione sulla problematica esposta. Infatti sono stati riscontrati casi di rilasci non trascurabili di metalli pesanti

ti da moduli c-Si, soprattutto per quelli costruiti negli anni ottanta, e quindi già nella fase di *end life*. Nel caso di pannelli di più recente fabbricazione, sono stati i moduli a film sottile contenenti cadmio o selenio a dimostrarsi più impattanti. Le prove ecotossicologiche sui lisciviati risultanti dai test di rilascio hanno

dimostrato in molti casi la potenziale pericolosità dei campioni. È stata inoltre evidenziata la necessità di effettuare ulteriori approfondimenti per definire la procedura più idonea per la classificazione dei moduli fotovoltaici in funzione della ecotossicità osservata. In conclusione, le attività di ricerca del Centro

Ricerche ENEA di Portici hanno dimostrato la potenziale pericolosità di una gestione incontrollata del rifiuto fotovoltaico e la lungimiranza dell'inserimento dei moduli nella normativa RAEE. Le future attività approfondiranno questi ed altri aspetti connessi alla problematica esposta.

bibliografia

- [1] Fthenakis, V. M., 2003. Overview of potential hazards. Chapter VII-2, Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications, General editors T. Markvart and L. Castaner, published by Elsevier in 2003. ISBN 1-856-17390-9.
- [2] Fthenakis, V. M., Kim, H. C., Alsema, E., 2008. Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environ. Sci. Technol.* 42, 2168-2174.
- [3] Hsu, D. D., O'Donoghue, P., Fthenakis, V., Heath, G. A., Kim, H. C., Sawyer, P., Choi, J., Turney, D., 2012. Lifecycle greenhouse gas emissions of crystalline silicon photovoltaic electricity generation. *J. Ind. Ecol.* 16, 122-135.
- [4] Nugent D., Sovacool B. K., 2014. Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey. *Energy Policy* 65 (2014) 229-244
- [5] Peng, J., Lu, L., Yang H., 2013. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19, 255-274
- [6] Alsema, E. A., de Wild-Scholten, M. J., Fthenakis, V. M., 2006. Environmental impacts of PV electricity generation – A critical comparison of energy supply options. Presented at the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany, 4-8 September 2006.
- [7] Alsema, E. A., de Wild-Scholten, M. J., 2006. Environmental Impacts of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production. Presented at 13th CIRP Intern. Conf. on Life Cycle Engineering, Leuven, 31 May- 2 June 2006.
- [8] Fthenakis, V. M., Fuhrmann, M., Heiser1, J., Lanzirotti, A., Fitts, J. and Wang, W., 2005. Emissions and Encapsulation of Cadmium in CdTe PV. Modules During Fires. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 13, 713-723.
- [9] McDonald, N.C., Pearce, J.M., 2010. Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules. *Energy Policy* 38, 7041-7047
- [10] Kang, S., Yoo, S., Lee, J., Boo, B., Ryu, H., 2012. Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. *Renewable Energy* 47, 152-159.
- [11] Appleyard, D., 2009. Light cycle: recycling PV materials. *Renewable Energy World*, March- April, 28-35.
- [12] EPIA, 2012. Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2016. Commissioned Publication, Brussels, Belgium. http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/Global-Market-Outlook-2016.pdf
- [13] EPIA, 2013 Report Global Market Outlook for Photovoltaics 2013-2017. http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf
- [14] Fthenakis, V. M., 2000. End-of-life management and recycling of PV modules. *Energy Policy* 28, 1051-1058.
- [15] Berger, W., 2010. A novel approach for the recycling on thin film photovoltaic modules, resources. *Conservation and Recycling* 54, 711-718.
- [16] Gottesfeld, P., Cherry, C. R., 2011. Lead emissions from solar photovoltaic energy systems in China and India. *Energy Policy* 39, 4939-4946.
- [17] V. Monier, M. Hestin (Bio Intelligence Service), Study on photovoltaic panels supplementing the impact assessment for a recast of the WEEE Directive, Progetto europeo ENV.G.4/FRA/2007/0067, Rapporto Finale, aprile 2011.
- [18] M. Tammaro, J. Rimauro, V. Fiandra, A. Salluzzo, 2013. Experimental tests for the determination of emissions of metals during the heat treatment of samples of crystalline silicon photovoltaic module. *Ecomondo Proceedings*, Ed. Maggioli 2013
- [19] M. Tammaro, A. Salluzzo, J. Rimauro, 2013. Preliminary tests for the experimental verification of the emission of metals during the heat treatment in air samples of the photovoltaic panels at the end of life. *EnergyMed* 2013
- [20] C. Privato, A. Salluzzo, S. Manzo, M. Tammaro, 2013, Studio sperimentale per analizzare il rischio di rilascio di elementi pericolosi, in particolare metalli, presenti nella composizione dei pannelli fotovoltaici esausti se abbandonati nell'ambiente, Consulenza Tecnico Specialistica 2013.
- [21] M. Tammaro, J. Rimauro, V. Fiandra, A. Salluzzo, 2014. Thermal treatment of waste photovoltaic module for recovery and recycling: experimental assessment of the presence of metals in the gas emissions and in the ashes. Submitted to journal, 2014.
- [22] M. Tammaro, S. Manzo, J. Rimauro, A. Salerno, A. Salluzzo, S. Schiavo, C. Privato, 2014. The photovoltaic panel as an electronic waste: experimental study of metal release in the environment. *EU PVSEC 2014*, Amsterdam, 2014



Modelli di Conoscenza come catalizzatori di efficienza cognitiva e strumento di sviluppo di sistemi decisionali: il caso BATTLE

Viene presentata una metodologia basata sull'utilizzo dei modelli di conoscenza, definiti come algoritmi logico-matematici in grado di rappresentare sintesi concettuali anche molto complesse. Punto cardine è il principio di indipendenza della struttura della conoscenza, sulla base del quale è possibile enucleare concetti di conoscenza condivisa. L'utilizzo strumentale dei modelli di conoscenza nei processi cognitivi (umani e informatici) fornisce quindi, in analogia alla funzionalità dei catalizzatori nei processi chimici, l'indubbio vantaggio di generare soluzioni più valide nel minor tempo, rappresentando al tempo stesso un utile strumento di supporto decisionale e, in ultima analisi, di capitalizzazione del valore della conoscenza. Viene qui presentato un caso applicativo (Progetto Life/Env / ENEA/"BATTLE") nell'ambito dello sviluppo di un sistema decisionale on-line/real-time e di *early-warning*, per il riutilizzo dell'acqua di processo in industrie tessili

DOI: 10.12910/EAI2014-59

■ Giovanni Mappa, Maurizio Casarci

I Modelli di Conoscenza e il loro utilizzo

Per definire in maniera esaustiva il concetto di *Modello di Conoscenza (Knowledge Modeling)* [6,7,22] bisognerebbe addentrarsi nei meandri delle *Scienze Cognitive* [2,3]; per costatarne la loro utilità operativa e applicabilità pratica, l'ambito di riferimento è invece l'*Ingegneria della Conoscenza* [4,5,23,24]: su questi argomenti esiste infatti, un immenso patrimonio di letteratura tecnico-scientifica, a partire addirittura dagli anni '50 [1].

Peraltro, i modelli di conoscenza sono insiti nella nostra natura, in quanto esseri viventi *in grado di*

interpretare gli eventi, gestire le incertezze e prendere delle decisioni di "buon senso" (8,9). Tutti noi seguiamo dei *modelli di riferimento (pattern)* che possono riguardare l'etica, la famiglia, la politica ecc., come concetti di valore condivisi: modelli che ci aiutano a ragionare più efficacemente, nonché a vivere meglio (*early warning*) di fronte a situazioni decisionali caratterizzate da incertezza o rischio.

Vivendo poi nell'era dell'*Economia della Conoscenza* e della ricerca dello *sviluppo sostenibile* [10,11], ci rendiamo conto di come si stia sviluppando un *nuovo bisogno* di "conoscenza economicamente tan-

gibile" [12], ovvero la necessità di gestire la conoscenza in maniera *efficiente*, tale da far raggiungere gli obiettivi nel minor tempo possibile e con la massima economicità; mentre per ora sappiamo farlo solo in maniera efficace e stiamo ancora imparando a farlo *in maniera economica*: *Net-Economy, Big-Data, Green Energy, Smart City* sono solo alcuni dei possibili contesti che ci richia-

■ Giovanni Mappani
ANOVA Studi & Ricerche
Interdisciplinari, Napoli

■ Maurizio Casarci
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie
Ambientali

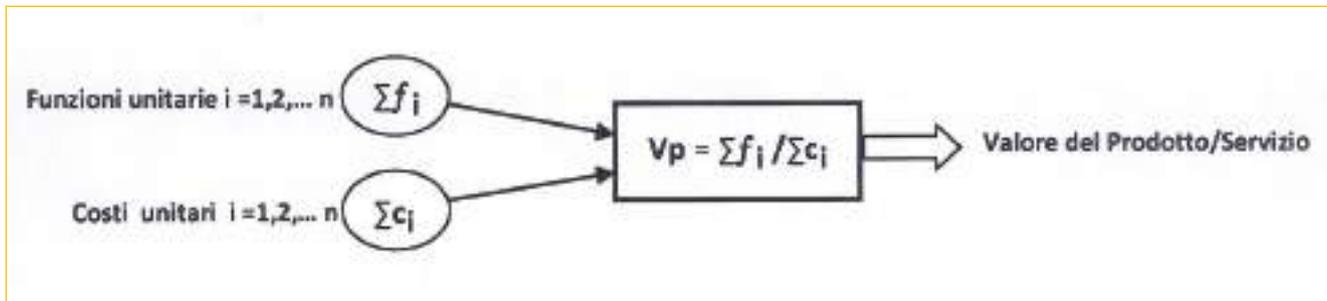


FIGURA 1 Esempio "Pattern del Valore" (Modello di Conoscenza)

mano il concetto di conoscenza efficiente [10,11]. Questo nuovo bisogno, può essere soddisfatto solo con un *approccio sistematico e interdisciplinare* alla risoluzione dei problemi e con la introduzione di strumenti di *capitalizzazione e valorizzazione della conoscenza*. Qui entrano in gioco i *Modelli di Conoscenza* come *chiavi di lettura della complessità*, ovvero come dei *componenti riconoscibili (pattern)* di un "puzzle", mediate i quali si è in grado di individuare e fissare dei punti di riferimento e risolvere efficacemente e velocemente il puzzle stesso. In altri termini, modelli di conoscenza come *catalizzatori* (scorciatoia) dei processi cognitivi per aumentarne l'efficienza. L'approccio dei *modelli di conoscenza* è stato presentato ufficialmente da uno degli autori di questo articolo per la prima volta nel 1993 a Palermo, in occasione del Congresso ANDIS (*Associazione Nazionale di Ingegneria Sanitaria Ambientale*) [13], come *sviluppo di un sistema esperto per la gestione dei processi biologici di depurazione delle acque*, dimostrando come fosse possibile prevenire le anomalie di processo, incrociando i dati chimico-fisici di processo, con le informazioni quali-

quantitative relative al comportamento biologico (non-deterministico) dei microorganismi depurativi. Un modello di conoscenza può essere costituito in generale da uno o più pattern (correlati tra loro) e quindi, non è qualcosa di necessariamente complicato, anzi può essere molto semplice: vale la pena di illustrare il tipico esempio che si riferisce all'espressione del *Valore di un prodotto/servizio* [Figura 1].

Se un prodotto/servizio fornisce le funzionalità $[f_1+f_2+f_3]$, il costo di produzione corrispondente sarà $[c_1+c_2+c_3]$ e pertanto:

1. se si sbaglia a fornire una o più funzionalità $[f_i]$ perché non corrispondente a quanto richiesto o perché non necessaria, si avrà comunque un costo corrispondente $[c_i]$ e quindi, il Valore V_p sarà inferiore al dovuto: ciò esprime il *concetto di Qualità del Prodotto/Servizio*;
2. se a parità di $[f_i]$, riduco i costi $[c_i]$ dislocando l'azienda in paesi dell'estero ove è possibile farlo o acquistando materie prime più economiche, il Valore V_p aumenta (virtualmente), ma dal momento che $[c_i]$ (al denominatore) può al limite tendere a zero, in tal caso il

prodotto/servizio è inevitabilmente perso: ciò esprime il concetto di *una Visione (suicida) di Cash-Flow di breve periodo del Prodotto/Servizio*;

3. *solo migliorando e incrementando le $[f_i]$, ovvero investendo in ricerca e innovazione si ha che il Valore si incrementa realmente* (al limite all'infinito) ed è in grado di competere sul mercato: ciò esprime il *concetto di una Visione (imprenditoriale) di medio-lungo periodo del Prodotto/Servizio*.

Come è facile constatare, un semplice rapporto V_p come quello sopraindicato esprime da solo, *un pattern o modello di conoscenza*, che se fosse stato utilizzato dalla politica economica degli ultimi vent'anni, avrebbe portato molto probabilmente, il nostro Paese a rafforzare il cosiddetto "Made in Italy" evitando la svendita del patrimonio nazionale e delle sue aziende migliori [12].

Concetti e principi base

Scendendo più in profondità nei *modelli di conoscenza*, è possibile enucleare alcuni principi sui quali si basa applicazione della metodologia, riportati qui di seguito:

1. Catena della Conoscenza [Figura 2]: è il principio della Knowledge Chain DIKW (Data/Info/Knowledge/Wisdom) nel quale si distinguono i “dati” dalle “informazioni” e queste ultime dalla “conoscenza”, fino ad arrivare al concetto di “saggezza”. I dati sono definibili come entità statiche, “fotografie” di fatti e sono quindi espliciti, in genere sono espressi in forma alfanumerica, prodotti da fonti (database, sensori,...) che ne condizionano poi la loro “qualità”. Le informazioni sono entità dinamiche ed evolutive, caratterizzate da un proprio ciclo di vita, nascono in forma esplicita o latente, sono correlate ad uno o più processi (mentali, personali, ambientali, produttivi ecc.) ed esercitano su tali processi una propria influenza (o “peso”). Ad esempio: misurando la temperatura, la pressione atmosferica e l’umidità relativa esterna (dati), si ottiene un’informazione che può essere correlata all’abbigliamento da indossare (processo), condizionata dal “peso” che la stessa informazione ha su una de-

terminata persona piuttosto che su un’altra; dura lo spazio temporale (ciclo di vita) limitato alla rispettive necessità di uscire da casa. La catena della conoscenza DIKW non è solo un legame funzionale, ma esprime anche una “azione”: “La conoscenza è informazione in azione” [14,15,16,17]. Con riferimento al DIKW e alle precedenti considerazioni, si potrebbe quindi definire la conoscenza come la facoltà umana risultante dall’interpretazione delle informazioni finalizzata all’azione (Knowledge in Action), ovvero il risultato di un processo di inferenza e di sintesi (ragionamento), a partire da dati verso la saggezza (come ulteriore livello di astrazione dalla conoscenza acquisita).

2. Indipendenza Strutturale della Conoscenza dal contesto di riferimento: è il principio base più innovativo ed esprime l’indipendenza della struttura della conoscenza rispetto al contesto (lessicale, tematico) in cui essa stessa si riferisce, sulla base del quale è possibile enucleare concetti di

conoscenza condivisa, derivanti ad es. dall’esperienza popolare, piuttosto che dalle leggi rigorose della Fisica o dell’Economia, come sintesi concettuale trasversale e ricorrente (pattern), espresse in un linguaggio normalizzato e universale come quello logico-matematico [19]. I processi di ragionamento fattori di conoscenza, non sono “figli unici di madre vedova”, ma seguono dinamiche trasversali e interdisciplinari che sono ricorsive secondo classi funzionali, in relazione ad un sistema inerziale di riferimento, nel quale valgono universalmente i principi base della natura e dell’uomo (v. Piramide dei Bisogni Primari di A. Maslow [18], a prescindere da contesti linguistici, dagli scenari tecnologici, politici e di mercato del momento. Un esempio per tutti: l’Ingegneria Biomedica è nata quando finalmente discipline diverse, come la medicina, la fisica, l’ingegneria, la biologia ecc., si sono incontrate “interdisciplinarmente” nel suddetto sistema di riferimento inerziale, con il fine di soddisfare un

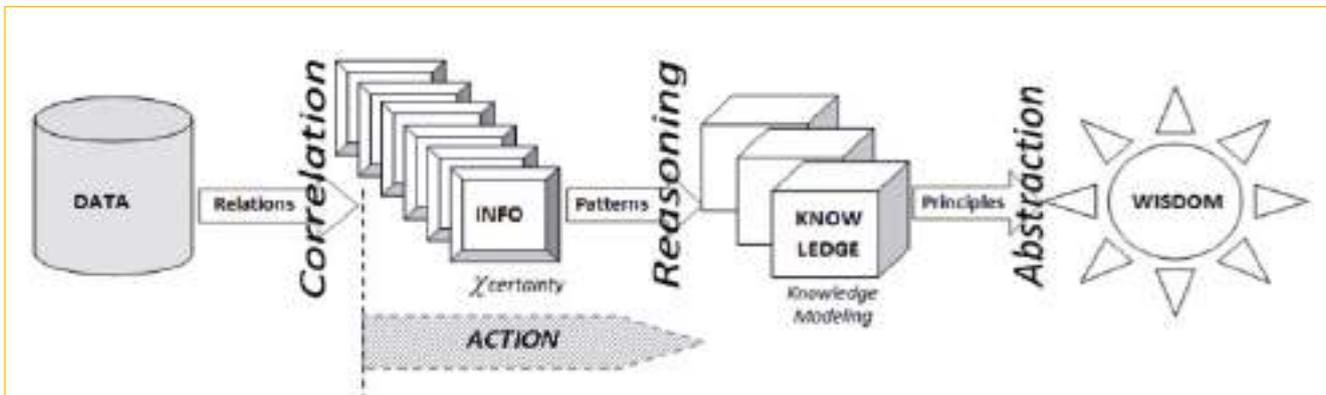


FIGURA 2 La Catena della Conoscenza DIKW



bene primario come quello della salute. L'esistenza di una *struttura comune della conoscenza* consente un'interazione più facile con nuove aree di conoscenza e favorisce lo sviluppo dell'approccio di *ragionamento interdisciplinare* [12]. L'utilizzo strumentale di questi *pattern* e, in senso più ampio, dei *modelli di conoscenza* nei processi cognitivi (umani e informatici) fornisce, in analogia alla funzionalità dei *catalizzatori* nei processi chimici, l'indubbio vantaggio di generare *soluzioni più valide nel minor tempo*, rappresentando al tempo stesso un utile *strumento di supporto decisionale e, in ultima analisi, di capitalizzazione del valore della conoscenza*.

3. *Propagazione del Grado di Certezza (vs Probabilità)*: la consueta mancanza, nei casi reali (processi industriali, ambientali e non solo), di "dati" sufficientemente numerosi e rappresentativi di un prefissato fenomeno in esame, può essere in molti casi "compensata" dai modelli di conoscenza, mediante il *principio della propagazione del "Grado di Certezza"* [20], sulla base del quale è possibile "by-passare" i limiti dell'approccio tradizionale *statistico e probabilistico*, utilizzato nello sviluppo di strumenti inferenziali complessi (v. "Reti Bayesiane"). Rimandando gli approfondimenti ai testi di riferimento [20,21], è possibile dare una idea "intuitiva" della differenza tra *approccio basato su sul grado di certezza*, rispetto a quello *statistico e probabilistico*: se si dovesse scegliere tra un biglietto della lotteria che ha un *grado di*

certezza del 70% di essere vincente ed un altro che ha una *probabilità di vincita del 70%*, quale sceglieremmo? La statistica si basa in genere su dati storici che non sempre sono rappresentativi di una realtà in evoluzione veloce e la probabilità del 70% ci dice soltanto che nello "storico" si è verificata il 70% delle vincite, ma nessuna assicurazione di vincita nel caso in esame. Un modello di conoscenza con il 70% di certezza di vincita, significa che abbiamo ricevuto *informazioni a favore del fatto che il biglietto fosse vincente*, con un grado di fiducia del 70% (maggiore del limite dell'incertezza del 50%), mentre per il restante 30% non abbiamo informazioni o queste sono contrastanti. Nella realtà, spesso viene confusa ad es. l'*esistenza* di un fenomeno con la *frequenza* con cui esso appare, fino a commettere l'errore di negarne l'esistenza soltanto perché "poco probabile": è superfluo sottolineare come le catastrofi che puntualmente si verificano (in Italia e nel mondo) in occasione di ogni evento naturale "anomalo", siano anche frutto di valutazioni a bassa probabilità [21].

4. *Computazione Non-Deterministica*: poniamoci la seguente domanda: *nel prendere una decisione, il nostro cervello risolve un sistema di equazioni o risolve per caso un'espressione algebrica?* Certo che no. Allora forse c'è un "gap" tra quello che abbiamo imparato a scuola nell'ambito delle *computazione di dati* (v. *Matematica*) e il modo "naturale" di *computare informazioni proprie del nostro cer-*

vello e poi trasferito alle macchine (v. *Intelligenza Artificiale*). È possibile un tipo di "computazione non deterministica" (calcolo qualitativo di tipo "Fuzzy") che ci consente di fare operazioni con le "informazioni", anche se esse si presentano incomplete o incerte (a differente % di certezza), in aggiunta a quanto siamo abituati a fare, con i soli "dati", ovvero con il *contenuto informativo* che i dati possono o meno esprimere [12]. In generale, un dato può essere considerato come un "insieme" che ha un contenuto informativo percentualmente differente a seconda del contesto e del target a cui è destinato. Ritornando all'esempio precedente sulle condizioni atmosferiche, un valore di *temperatura dell'aria esterna* di 15 °C rispetto alla scelta di vestirsi in maniera adeguata per uscire di casa fornisce una indicazione decisionale solo parziale (% certezza), se non è sovrapposta alle altre informazioni come ad es. *la pressione atmosferica e l'umidità relativa*. L'insieme risultante dall'intersezione dei tre insiemi di partenza ottenibile rispetto ad un target di "tempo di pioggia" o di "tempo soleggiato", fornisce un valore % risultante di certezza più elevato rispetto a quello che ciascun dato di partenza può esprimere singolarmente [19].

5. *Modellazione Reticolare della Conoscenza*: dal punto di vista logico, ogni modello di conoscenza può essere rappresentabile da una "cella informativa base" (*pattern*) dotata di "n" dati/info in ingresso (*input*) e "m" meta-informazioni

in *output*: all'interno della cella è possibile avere differenti relazioni di *inferenza input/output*: dalla semplice inferenza XY (curva di conoscenza $n=1, m=1$), fino a intere matrici "n*m" inferenziali. Gli "m" *output* di una cella possono a loro volta diventare in parte o in toto, *input* per un'altra cella e così via fino a realizzare una rete di celle in grado di elaborare un numero teoricamente infinito di informazioni.

Un processo tipico di "modellazione" della conoscenza, soprattutto nella realizzazione di *sistemi on-line di controllo*, segue alcuni passi fondamentali come la *formalizzazione e validazione* dei dati acquisiti da sorgenti eterogenee esterne, la *normalizzazione* rispetto ai range di operatività, l'*inferenziazione* di *cross-matching* (*inferentiation-integration-data fusion*), la *de-normalizzazione* dei risultati target ottenuti (Figura 3). Dal punto di vista concettuale [12], questo processo di *modellazione della conoscenza* è raffigurabile anche come una *rete neurale artificiale* costituita da "nodi" (neuroni) come *unità base di elaborazione delle informazioni* (*Basic-Info*) e "collegamenti" (sinapsi) come adduttori di inferenza caratterizzata da un grado di certezza ("peso" dinamico non probabilistico).

Grado di innovazione rispetto allo "Stato dell'Arte"

Il grado di innovazione di questa metodologia rispetto allo "Stato dell'Arte", risiede essenzialmente nei seguenti punti:

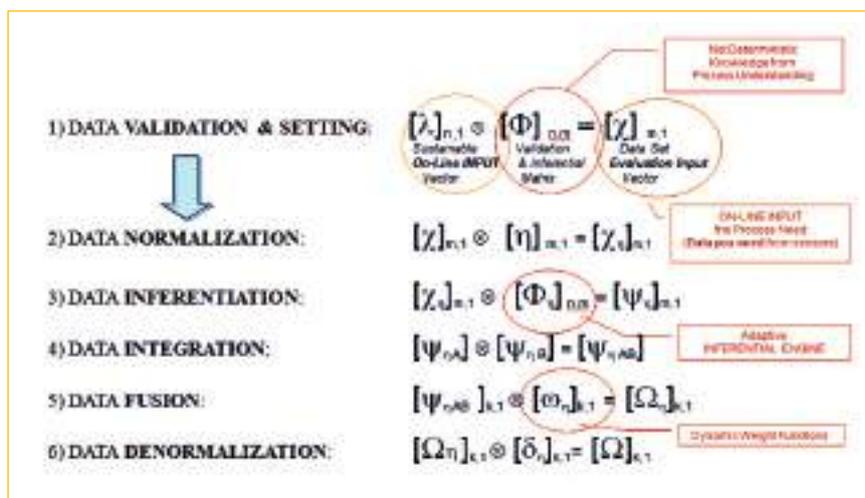


FIGURA 3 Processo tipico di Modellizzazione della Conoscenza (Knowledge in Action)

- rispetto alle *Reti Neurali Artificiali* (ANN) ogni nodo-neurone *i*-esimo è in grado di elaborare dinamicamente un numero elevato di input/output (multidimensionalità inferenziale), anziché un solo input/output con un'unica (e spesso statica), funzione di inferenza (attivazione);
- l'elaborazione inferenziale all'interno di ciascun nodo ha un adattamento continuo (apprendimento), ma rimane sempre "visibile": è possibile in ogni momento ispezionare la configurazione di ciascun nodo della rete e dei relativi *collegamenti-sinapsi*, per cui il processo cognitivo è sempre tracciabile (cosa in genere non possibile nelle ANN);
- rispetto ai tradizionali procedimenti statistico-probabilistici, la metodologia basata sui modelli di conoscenza opera essenzialmente sulla propagazione del *grado di certezza* dei contenuti informativi, secondo un *processo incrementale*

che ne riduce progressivamente l'errore, ottimizzando realisticamente il valore del processo cognitivo [9]. Ad es., se sono disponibili tre informazioni su un determinato argomento (target) e supponiamo che la prima abbia un "contenuto" (rispetto al target) del 30%, la seconda il 45% e la terza il 25%: la loro "computazione" di certezza rispetto al target non è 100% (come nella somma algebrica), ma del 71,123%, con un residuo del 28,875% di incertezza. Un'ulteriore informazione disponibile agirà su quest'ultimo residuo %, riducendolo ulteriormente. In questa computazione "insiemistica" si propaga solo ciò che è condivisibile tra un'informazione e l'altra e quindi, vengono progressivamente eliminate le parti di informazione "non-condivisibile", vale a dire gli errori. Ciò cambia totalmente il punto di vista rispetto al problema della disponibilità di dati storici e dei

campioni statisticamente significativi, essendo in grado di utilizzare tutte le *informazioni quantitative, qualitative* o anche *incerte* di cui si è a disposizione, giungendo *sempre* ad una conclusione, con un *livello di qualità* ovviamente direttamente proporzionale alla stessa qualità degli input.

Campi di applicazione

L'utilizzo della metodologia basata sui modelli di conoscenza offre diverse possibilità, anche con riferimento sia ai sistemi *on-line/real-time* e di *Early-Warning (EWS)*, sia ove vi sia la necessità di supportare la diagnostica e la presa di decisione, particolarmente in situazioni caratterizzate da interdisciplinarietà, eterogeneità quantitativa e qualitativa dei dati, come ad es., nei processi ambientali, nella gestione dei processi industriali e addirittura, nella valutazione di beni intangibili come ad es. il *valore* della conoscenza stessa. Le esperienze applicative dei modelli di conoscenza sviluppate dal 1993 ad oggi, riguardano soprattutto l'ambito dei Sistemi Esperti di Supporto alle Decisioni, dei Sistemi *on-line/real-time* di Monitoraggio "*Consapevole*" e dei *Sensori Software Intelligenti*.

In particolare, sono stati realizzati sistemi per:

1. *la rilevazione early-warning del rischio/credito;*
2. *per il recupero di centri storici post-sisma;*
3. *sistemi di controllo processo* in ambito alimentare (mosto/vino, olio d'oliva extravergine, caseario),
4. *il monitoraggio on-line della qua-*



FIGURA 4 Impianto realizzato da ENEA in collaborazione con i partner nell'ambito di detto progetto.

lità delle acque e del loro trattamento depurativo;

5. *il controllo early-warning degli Incendi boschivi e della salvaguardia ambientale;*
6. *il monitoraggio early-warning degli odori molesti da impianti di trattamento rifiuti;*
7. *il controllo energy saving di processi biologici;*
8. *la gestione early-warning/predittiva della manutenzione di impianti industriali;*
9. *diversi studi fattibilità operativa.*

Viene qui di seguito illustrato un caso applicativo riguardante l'applicazione di un sistema esperto *on-line/real-time* che utilizza una "modellazione reticolare della conoscenza" e in grado di gestire autonomamente la scelta dei reflui idonei al riutilizzo, in un ambito industriale tessile.

Un caso studio: il progetto BATTLE

Il progetto BATTLE (*Best Available Technique for water reuse in TextiLE SMEs*) di cui ENEA è stato il beneficiario, propone una nuova tecnologia di selezione e trattamento dei reflui industriali, che consente il riutilizzo di circa il 50% dell'acqua di processo in industrie tessili. Il progetto è stato ammesso a cofinanziamento nel programma LIFE III nel 2005, e si è svolto in un periodo di 3 anni (dal 1 dicembre 2005 al 30 novembre 2008). Il progetto oltre ad ENEA ha visto la partecipazione di altri 5 partner industriali e istituzionali di cui uno belga.

Gli obiettivi dichiarati e pienamente raggiunti sostanzialmente si possono riassumere in tre punti:

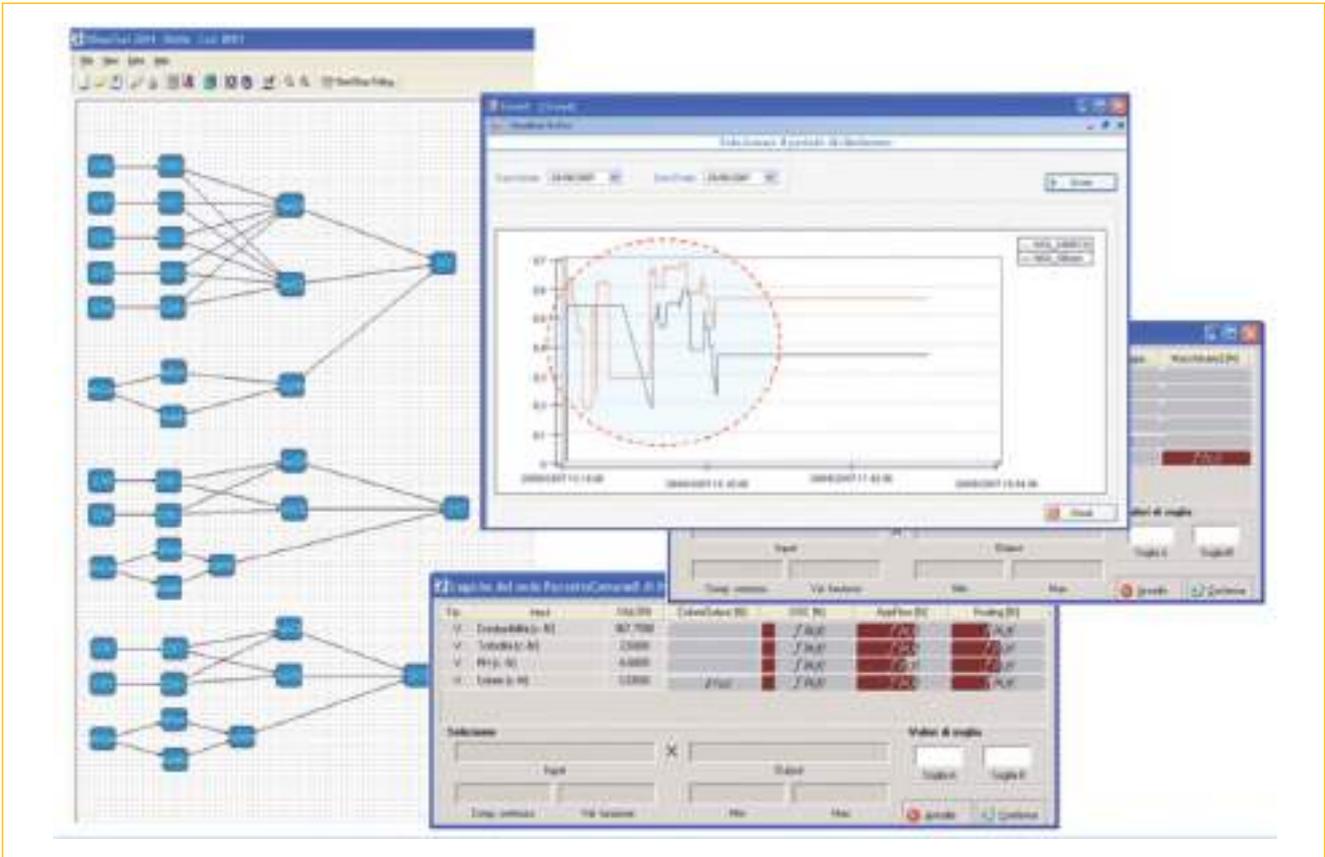


FIGURA 5 Alcune videate del software XBASE del sistema esperto [25,26] dove viene visualizzata la struttura inferenziale reticolare dei modelli di conoscenza e il contributo di certezza (barre in colore scuro) fornito dalle informazioni rilevate dai sensori

1. Valutare l'applicabilità delle BATs (Best Available Techniques) nelle PMI del settore tessile, per l'implementazione della direttiva europea 96/61/CE o direttiva IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control).
2. Sviluppare un sistema innovativo per il riciclo dell'acqua di lavorazione all'interno di un'industria tessile, al momento non contemplata nei documenti di riferimento per il settore (BREF Textile). Il sistema sarà proposto come BAT di riferimento per le PMI.

3. Attirare l'attenzione sull'importanza dei benefici e delle opportunità derivanti dall'implementazione delle migliori tecnologie disponibili all'interno delle PMI europee.

Il concetto innovativo, vero fulcro del progetto, si basa sulla sinergia tra un sistema esperto implementato con una "Modellazione Reticolare della Conoscenza" (XBASE [12,25,26]) e corredato da sistemi analitici on-line in grado di gestire autonomamente la scelta dei reflui idonei al riutilizzo con un sistema di

ultrafiltrazione di ultima generazione a basso impatto energetico ed ambientale.

L'impianto sviluppato, costruito e avviato presso la Tintostamperia di Martinengo (Bergamo) dopo una fase di avviamento è attualmente in funzionamento continuo ed è in grado di recuperare circa 350 m³/giorno di acqua con dei picchi di 500 m³ che rappresentano circa il 50% dell'acqua che attualmente la PMI end user utilizza e quindi, preleva dai pozzi.

Tale realizzazione è una palese

dimostrazione di come sia possibile effettuare un'intervento di eco-innovazione in scala impiantistica significativa nell'ambito dei programmi e delle direttive comunitarie. In particolare, è utile sottolineare come da incontri

e visite effettuate da dirigenti di Confindustria di Bergamo, sia palese l'interesse per lo sviluppo e la replica di questo approccio impiantistico in altre realtà idroesigenti presenti nell'indotto industriale bergamasco. Per ultimo

è utile puntualizzare come questo approccio innovativo possa essere utilizzato, con i dovuti aggiustamenti processistici, anche in altri comparti produttivi, idroesigenti in termini di qualità e quantità e non solo. ●

bibliografia

1. History of Artificial Intelligence - http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_artificial_intelligence
2. Scienze Cognitive - http://it.wikipedia.org/wiki/Scienze_cognitive
3. Cognitive Science - <http://bcs.mit.edu/research/cognitivescience.html>
4. Knowledge Engineering - http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_engineering
5. Feigenbaum, Edward A.; McCorduck, Pamela (1983), *The fifth generation* (1st ed.), Reading, MA: Addison-Wesley, ISBN 9780201115192, OCLC 9324691
6. Knowledge Representation and Reasoning - http://en.wikipedia.org/wiki/Knowledge_representation_and_reasoning
7. Knowledge Modeling - State of the Art - Vladan Devedzic - Department of Information Systems, FON - School of Business Administration - University of Belgrade - <http://www.tarrani.net/kate/docs/KnowledgeModeling.pdf>
8. Common Sense - http://en.wikipedia.org/wiki/Common_sense
9. Certainty - <http://en.wikipedia.org/wiki/Certainty>
10. L'economia della conoscenza nel capitalismo delle reti – Enzo Rullani - www.sinergiejournal.it/rivista/index.php/sinergie/article/download/246/269+&cd=5&hl=it&ct=cnk&g=it
11. Il Valore della Conoscenza nell'Era della Net Economy (3° parte) – Giovanni Mappa – <http://www.outsidernews.net/il-valore-della-conoscenza-nellera-della-net-economy-3-parte/>
12. Interdisciplinary Thinking by Knowledge Synthesis – Giovanni Mappa – Il Mio Libro Editore (2011). <http://lmiolibro.kataweb.it/schedalibro.asp?id=647468>
13. G. Mappa, A. Sciarretta, S. Moroni e M. Allegretti (1993), "Sistema Esperto per la Gestione degli Impianti di Trattamento delle Acque Urbane" Congresso Biennale ANDIS'93 Palermo 21-23 settembre Vol.II 1993
14. The Data, Information, Knowledge, Wisdom Chain: The Metaphorical link - Jonathan Hey - December 2004 <http://www.dataschemata.com/uploads/7/4/8/7/7487334/dikwchain.pdf>
15. Carla O'Dell and C. Jackson Grayson, Jr. - *If Only We Knew What We Know*, Free Press, 1998.
16. George Boole di Andrea Pedeferry - http://www.aphex.it/public/file/Content20100904_APhExProfilIBoolePedeferry.pdf,
17. Data, Information, Knowledge, Wisdom: A Doubly Linked Chain? - Syed Ahsan - Abad Shah <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.89.5378&rep=rep1&type=pdf>
18. Abraham Harold Maslow, *A Theory of Human Motivation*, *Psychological Review* 50(4) (1943):370-96.
19. La seconda rivoluzione scientifica: matematica e logica. La matematizzazione della biologia e la biomatematica - Giorgio Israel [http://www.treccani.it/enciclopedia/la-seconda-rivoluzione-scientifica-matematica-e-logica-la-matematizzazione-della-biologia-e-la-biomatematica_\(Storia-della-Scienza\)/](http://www.treccani.it/enciclopedia/la-seconda-rivoluzione-scientifica-matematica-e-logica-la-matematizzazione-della-biologia-e-la-biomatematica_(Storia-della-Scienza)/)
20. The Certainty-Factor Model - David Heckerman - Departments of Computer Science and Pathology University of Southern California- <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/heckerman/h92encyclopedia.pdf>
21. Inferenza statistica: scimmiette e cattivi maestri – Alfredo Rizzi - Dipartimento di Statistica, Probabilità e Statistiche applicate, Piazza A. Moro 5, 00187 Roma - members.xoom.virgilio.it/marcotinelli/Inferenza%20statistica.doc
22. Pejman Makhfi – Introduction to Knowledge Modeling (2013) - http://www.makhfi.com/KCM_intro.htm#What
23. Kendal, S.L.; Creen, M. (2007), *An introduction to knowledge engineering*, London: Springer, ISBN 9781846284755, OCLC 70987401
24. Mohsen Kahani – "Expert System & Knowledge Engineering in Wikipedia" (2012)
25. N. Brancati, G. Mappa (2009) "Capturing Knowledge in Real-Time ICT Systems to Boost Business Performance" ANOVA - Cognitive and Metacognitive Educational Systems: Papers from the AAAI Fall Symposium (FS-09-02)
26. EDILMED Convegno "Tecnologie Post Industriali trasferibili all'Architettura e all'Edilizia" Mostra d'Oltremare 19-21 maggio. Presentazione relazione su XBASetool: "La Tecnologia dei Sistemi Esperti nell'Edilizia: Qualità Edilizia e Manutenzione Intelligente" G. Mappa Napoli, 1995.
27. L. Carlucci Aiello, M. Cialdea Mayer, *Invito all'intelligenza artificiale*. Franco Angeli, Milano 1995
28. G. Mappa "Distributed Intelligent Information System for Wastewater Management Efficiency Control", INFOWWATER Wastewater Treatment Standards and Technologies to meet the Challenges of 21st Century 4-7th April 2000 AD – Queen's Hotel, Leeds, UK 2000
29. G. Mappa, et Alii, "Sistema di monitoraggio e gestione del trattamento delle acque croniche" AI'A99 – 6° Congresso della Associazione Italiana per l'Intelligenza Artificiale 7 Settembre 1999 Facoltà di Ingegneria– BOLOGNA 1999
30. G. Mappa, R. Tagliaferri, D. Tortora, "On-line Monitoring based on Neural Fuzzy Techniques applied to existing hardware in Wastewater Treatment Plants" - AMSEISIS'97 - INTERNATIONAL SYMPOSIUM on INTELLIGENT SYSTEMS - September 12, 1997.
31. G. Mappa, "Distributed Intelligent Information System for Wastewater Management Efficiency Control" - Wastewater Treatment Standards and Technologies to meet the Challenges of 21st Century 4-7th April 2000 AD – Queen's Hotel, Leeds, UK.



Il ruolo strategico dei Piani Urbani della Mobilità Sostenibile in Europa e in Italia

La Commissione Europea rilancia l'efficienza e la sostenibilità in ambito urbano con un nuovo pacchetto di misure volte alla mobilità, tra le quali considera elemento centrale l'elaborazione del Piano Urbano per la Mobilità Sostenibile. Le città europee sono chiamate a raccogliere le opportunità offerte da un approccio integrato alla pianificazione urbana della mobilità, che richiederà evidenti sforzi iniziali, ampiamente ripagati, però, nel medio-lungo periodo. L'alternativa è quella di un ulteriore degrado della qualità della vita nelle aree urbane e la menomata capacità del sistema dei trasporti di esaudire la domanda di mobilità in modo efficiente e sostenibile

DOI: 10.12910/EAI2014-60

■ Silvia Orchi, Maria Pia Valentini

Verso una pianificazione urbana sostenibile

Una delle principali priorità dell'agenda europea è quella di guidare lo sviluppo urbano delle città su percorsi sostenibili, competitivi ed efficienti. Questo obiettivo richiede una particolare attenzione al tema della mobilità. Infatti, i costi delle esternalità negative, connessi al settore trasportistico in ambito urbano, nel 2010, sono ammontati a 230 miliardi di euro nei 27 paesi dell'Unione Europea (Tabella 1), mostrando uno scarso livello di efficienza e competitività del sistema dei trasporti in generale. Tra le esternalità, la congestione urbana comporta i costi maggiori. Riguardo agli aspetti ambientali, la mobilità urbana è responsabile del 40% delle emissioni di CO² derivate dal trasporto su strada e per il 70% del

resto degli inquinanti derivanti dal trasporto in generale.

La Commissione Europea, per dare fattivo supporto ai decisori politici territoriali, ha elaborato degli specifici *working paper* che si riferiscono alla Logistica Urbana¹, alla Regolamentazione dell'accessibilità urbana dei veicoli "smart"², agli ITS³(Information Transportation System), alla sicurezza stradale urbana⁴ e ai Sustainable Urban Mobility Plans (SUMP, in italiano Piano Urbano Mobilità Sostenibile-PUMS) di cui tratteremo in questa sede.

La Commissione Europea riconosce il ruolo strategico che può essere ricoperto dalla pianificazione sostenibile della mobilità in ambito urbano e, per questo, individua nei PUMS lo strumento per rilanciare un sistema dei trasporti efficiente e competitivo. La risonanza dell'i-

niziativa relativa ai PUMS è tale che anche l'iniziativa del Patto dei Sindaci, e di conseguenza dei Piani di Azione per l'Energia Sostenibile (PAES), verranno interessati dall'introduzione di una dimensione dedicata alla "mobilità urbana" per le città interessate.

Nel mese di maggio è stata attivata la Piattaforma Europea ENDURANCE (EU-wide Establishment of Enduring National and European Networks for Sustainable Urban Mobility)⁵. Si tratta di un progetto dell'Unione Europea, co-finanziato dal programma Intelligent Energy Europe (IEE), che ha l'obiettivo di creare una rete nazionale ed euro-

■ Silvia Orchi, Maria Pia Valentini
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica, Mobilità Sostenibile

Costi esterni del settore trasporti nei 27 paesi dell'Unione Europea. Anno 2010 (miliardi di €)

Indicatori*	Stima situazione corrente (miliardi di €)	Stima quota in area urbana (miliardi di €)
Congestione	~ 130	~ 80
Qualità dell'aria	~ 50 (trasporto stradale)	~ 20
Incidentalità	~ 200	~ 80
Rumore	~ 40	~ 40
CO ₂		~ 7
Costi esterni totali		~ 230

* I costi esterni devono essere considerati con cautela in quanto stimati, in assenza di dati reali

TABELLA 1 Costi esterni del settore trasporti nei 27 paesi dell'Unione Europea. Anno 2010 (miliardi di €)
 Fonte: "Study to support an impact assessment of the urban mobility package – activity 31" – European Commission 2013

pea stabile e duratura a supporto della pianificazione e della realizzazione delle misure di mobilità urbana sostenibile nelle città.

Si ritiene opportuno, inoltre, citare il progetto IEE, "Boosting Urban Mobility Plans (BUMP)⁶, che segna un progresso verso l'implementazione e l'adozione da parte dei Comuni dei PUMS quale strumento innovativo di programmazione. Il progetto intende dare supporto, ai Comuni con popolazione compresa tra i 40.000 e 350.000 abitanti, alla predisposizione del PUMS attraverso il trasferimento delle conoscenze e competenze necessarie, messe in rete per facilitare la condivisione di esperienze e insegnamenti.

Caratteristiche e contenuti dei Piani Urbani della Mobilità Sostenibile: situazione europea

Il PUMS è uno strumento strategico di pianificazione, con un orizzonte temporale di lungo termine (minimo 10 anni). Gli elementi che lo contraddistinguono dai tradizionali Piani dei Trasporti/Mobilità sono

da individuare nei tre principi cui si ispira l'intero processo di elaborazione e attuazione del piano stesso, ossia principi di integrazione, partecipazione e valutazione. Assolutamente innovativa, l'attività di pianificazione del PUMS si basa principalmente sul coordinamento e l'integrazione dei vari aspetti della sostenibilità (equità sociale ed economica, ambientale e sviluppo di qualità) nei vari settori (trasporti, urbanistica, ambiente, sviluppo economico, politiche sociali, salute, sicurezza, energia ecc.); prevede inoltre la cooperazione tra i vari livelli istituzionali nonché la collaborazione tra aree urbane vicine e il coinvolgimento pubblico degli *stakeholder*; infine, attribuisce un peso molto rilevante alle attività di monitoraggio e di valutazione dei target e delle misure pianificate che devono periodicamente accompagnare l'attuazione del piano. Il tutto si realizza nell'ottica del miglioramento dell'efficienza, dell'attrattività e della qualità del sistema dei trasporti urbani.

La definizione del PUMS elaborata dalla Commissione Europea così recita: "Il PUMS è un piano strategico finalizzato a soddisfare i bisogni di mobilità per le persone e le merci, nelle città e nelle loro periferie, al fine di migliorarne la qualità della vita. Il PUMS si basa su pratiche di pianificazione esistenti e tiene debitamente conto dei principi di integrazione, di partecipazione e di valutazione".

Il PUMS è adottato su base volontaria ed ha come target di riferimento, non esclusivo, città con più di 100.000 abitanti; il piano deve proporre un insieme *integrato* di misure tecniche, infrastrutturali e di *policy* capaci di ottimizzare il conseguimento dell'obiettivo dichiarato e degli obiettivi specifici in relazione alle tematiche indicate in Tabella 2.

Il PUMS prevede l'esecuzione di analisi di costo-beneficio alla base della selezione delle azioni e delle misure costituenti il piano stesso. Per una completa trattazione si vedano le linee guida appositamente predisposte per i PUMS⁷.

Tematiche e relativi obiettivi	
Tematiche	Obiettivi
Trasporto pubblico locale	Miglioramenti per la qualità, sicurezza, integrazione e accessibilità dei servizi di trasporto pubblico, comprese le infrastrutture
Trasporto non motorizzato	Adattamento e miglioramento delle infrastrutture esistenti o la creazione ex novo
Intermodalità	Migliorare l'integrazione tra le varie modalità di trasporto e multi-modalità
Sicurezza stradale	Evidenziare le principali problematiche connesse alla sicurezza e alla rischiosità stradale
Trasporto stradale	Ottimizzare l'uso della strada anche con destinazioni verso altre modalità o funzioni
Logistica urbana	Migliorare l'efficienza della logistica, ridurre le esternalità come emissioni, inquinanti e rumore
Mobility Management	Allargare la platea dei possibili destinatari: cittadini, lavoratori, studenti e altri gruppi rilevanti
Information Transportation System	Il piano suggerisce come usare la tecnologia per la formulazione di strategie, implementazione di politiche e monitoraggio di misure di mobilità sostenibile

TABELLA 2 Tematiche e relativi obiettivi

Fonte: elaborazione ENEA su "Study to support an impact assessment of the urban mobility package – activity 31" – European Commission 2013

Uno studio della Commissione Europea sui piani della mobilità attuati a livello europeo ha condotto alle seguenti conclusioni: nell'ultimo decennio vi è un trend crescente per quanto riguarda l'approccio integrato alla mobilità urbana sostenibile; il livello di integrazione realizzato a livello di singola città rimane tuttavia molto diverso e sono ancora poche le città che implementano un livello di integrazione sufficiente. Ovviamente, molto più lavoro in tal senso occorre compiere nelle città dei "nuovi" Stati membri ma il problema generale della realizzazione completa di un approccio integrato sembra consistere nella mancanza di coordinamento tra gli addetti alla pianificazione. La situazione europea attuale vede gli Stati membri distinti in tre gruppi:

- Paesi con una pianificazione dei trasporti consolidata con relativo supporto normativo e/o linee guida;
- Paesi che hanno da poco avviato un approccio alla pianificazione della mobilità sostenibile;
- Paesi che ancora non hanno adottato una pianificazione della mobilità sostenibile.

L'Italia si trova nel primo gruppo, insieme a Francia, Germania, Norvegia, Paesi Bassi e Gran Bretagna. Sempre secondo lo studio della Commissione Europea, altre barriere alla realizzazione dei piani urbani della mobilità sono identificabili nell'assetto culturale, orientato a favore delle infrastrutture dedicate alle auto, dalle lobby, dalla scarsa integrazione intersettoriale, dalla carenza di competenze del personale, dall'inadeguato

coordinamento nei diversi livelli di governo e nello scarso coinvolgimento pubblico, dalla carenza di fondi. L'elemento capace di determinare i maggiori impatti (economici, sociali e ambientali) sta, quindi, nel conferire un carattere obbligatorio al PUMS e ai suoi obiettivi e contenuti (attualmente a discrezione del decisore locale). Considerando l'ampiezza delle possibili applicazioni e implicazioni, essenziale risulta l'acquisizione e lo sviluppo di competenze qualificate nell'elaborazione dei PUMS, nonché l'utilizzo di dati affidabili e dei relativi strumenti di analisi⁸. Le città che sapranno anticipare i tempi, dotandosi delle competenze e degli strumenti idonei, potranno rafforzare la propria leadership nel campo delle consulenze e diventare il riferimento per lo svi-

Costi per abitante medi minimi e massimi per l'elaborazione dei Piani di Mobilità Urbana in 84 città francesi			
Classe di popolazione	Costo minimo medio (€/ab)	Costo massimo medio (€/ab)	Costo medio (€/ab)
< 100.000 ab.	0,65	3,96	1,76
100.000-200.000 ab.	0,42	4,07	1,45
200.000-450.000 ab.	0,36-0,49	2,38-2,65	1,26-1,2
> 450.000 ab.	0,18	n.d.	n.d.

TABELLA 3 Costi per abitante medi minimi e massimi per l'elaborazione dei Piani di Mobilità Urbana in 84 città francesi
 Fonte: Plans de Déplacements Urbains - Panorama 2009

luppo e la gestione dei piani della mobilità urbana.

Impegni economici e finanziari: esperienze europee

Uno studio (Gart 2009) basato sulle esperienze di 84 città francesi che hanno sviluppato un "Plan de Déplacements Urbains" (PDU), ha elaborato una stima dei costi per abitante per la predisposizione dei piani, escludendo i costi per il loro aggiornamento e rivisitazione (Tabella 3). Il costo per la predisposizione del PUMS si avvicinerà al costo massimo riportato in Tabella 3 quanto più l'approccio sarà integrato, ossia efficace.

Data la scarsità delle risorse e la necessità di ottimizzarne l'uso, occorre valutare la redditività dei differenti tipi di misure per il territorio di riferimento. Uno studio danese ha evidenziato come il beneficio netto maggiore si abbia dalle iniziative su media/piccola scala, che possono essere in effetti identificate con le misure di mobilità sostenibile, mentre quelle con esiti peggiori sono le iniziative incentrate sul solo sull'abbattimento dell'inquinamento (Figura 1).

A conferma della maggiore redditività apportata dalle misure di

mobilità sostenibile, è il risultato derivante dalla combinazione del beneficio netto con le varie modalità di trasporto (Figura 2). Le performance migliori si hanno, infatti, con la bicicletta, seguita dalla strada e poi dalla ferrovia, mentre le iniziative trasversali hanno risultati meno confortanti in quanto trattasi, per lo più, di iniziative per abbattere l'inquinamento che, come specificato sopra, sono meno performanti. Le analisi costi/benefici che sono alla base delle valutazioni per la scelta delle misure indicate, valutano, oltre alla singola misura, l'ef-

fetto dell'intero pacchetto, considerando i miglioramenti di efficienza apportati complessivamente dalle politiche integrate nel PUMS, che, in quanto tali, rendono maggiormente redditizio un investimento altrimenti con performance negativa (es. le metropolitane). Per quanto riguarda i risultati ottenuti in ambito europeo dall'applicazione di misure di mobilità sostenibile, uno dei casi più significativi è quello della Congestion Charge di Londra; in questo caso, la stima del beneficio legato al risparmio dei tempi da congestione sarebbe

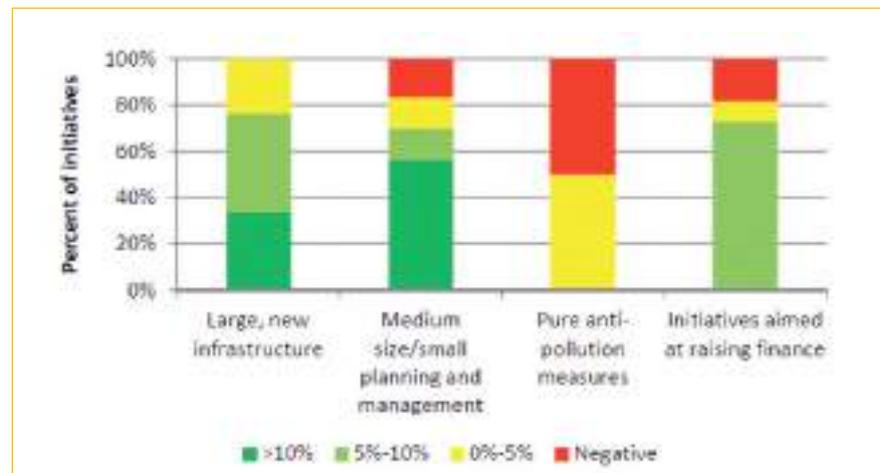


FIGURA 1 Beneficio netto per classe di intervento
 Fonte: "Study to support an impact assessment of the urban mobility package – activity 31" – European Commission 2013

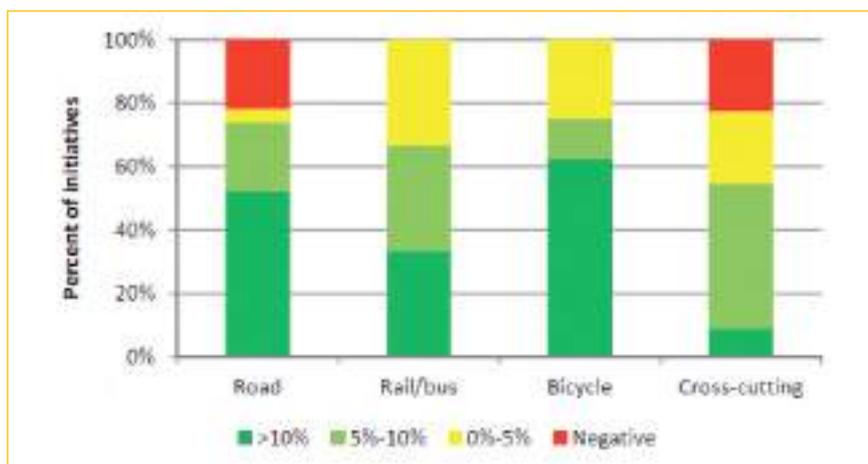


FIGURA 2 Beneficio netto per modalità di trasporto

Fonte: "Study to support an impact assessment of the urban mobility package – activity 31"
– European Commission 2013

di circa 300 milioni annui.

Un altro esempio di applicazione di un provvedimento simile è quello della Congestion Charge di Stoccolma. Entrata sperimentalmente in funzione nel 2006, è stata ben presto resa definitiva. Lo schema contiene, oltre alla Congestion Charge vera e propria, il potenziamento dei servizi di trasporto pubblico e parcheggi aggiuntivi. Uno studio condotto nel periodo di prova (2005-2006) ha stimato un risparmio netto pari a 40 milioni di euro l'anno. Considerando solo il beneficio de-

rivante dal risparmio dei tempi da congestione (riduzione e certezza dei tempi di viaggio), il vantaggio economico sarebbe di circa 90 milioni di euro l'anno.

La pianificazione urbana della mobilità in Italia

In Italia, l'art. 22 della Legge 340/2000 ha istituito il Piano Urbano della Mobilità (PUM) quale strumento di pianificazione sistemica con orizzonte temporale decennale per i Comuni con più di 100.000

abitanti, con lo scopo di regolamentare il settore della mobilità urbana, dal punto di vista della viabilità, del trasporto pubblico e della sicurezza stradale.

Il Piano Urbano della Mobilità si affianca al Piano Urbano del Traffico (PUT), uno strumento programmatico, reso obbligatorio dal 1992⁹ per i Comuni con più di 30.000 abitanti o interessati da particolari flussi turistici o da elevato pendolarismo, ma che non possiede la portata del PUM e si configura piuttosto come piano di gestione di breve periodo. Secondo la normativa nazionale, la predisposizione del PUM costituisce un prerequisito per accedere ai co-finanziamenti nazionali per investimenti in infrastrutture (fino al 60% dell'investimento). Per il resto, il PUM è finanziato con fondi locali destinati alla gestione dei servizi di trasporto, alla gestione della domanda o per altre iniziative di riduzione del traffico. Nelle Linee Guida del Ministero dei Trasporti del 2005, sono definiti gli obiettivi e i relativi indicatori, lasciando la determinazione dei target alle singole amministrazioni. L'elaborazione del PUM avviene su base volontaria e, secondo un rapporto di Cittalia¹⁰

Città che hanno elaborato il Piano Urbano per la Mobilità

Bari	Bergamo	Bologna	Bolzano	Brescia
Cagliari	Ferrara	Firenze	Foggia	Genova
Latina	Messina	Milano	Modena	Monza
Napoli	Novara	Padova	Parma	Perugia
Pescara	Pistoia	Prato	Reggio Calabria	Reggio Emilia
Rimini	Roma Capitale	Sassari	Siracusa	Torino
Trento	Udine	Venezia	Verona	Vicenza

TABELLA 4 Città che hanno elaborato il Piano Urbano per la Mobilità

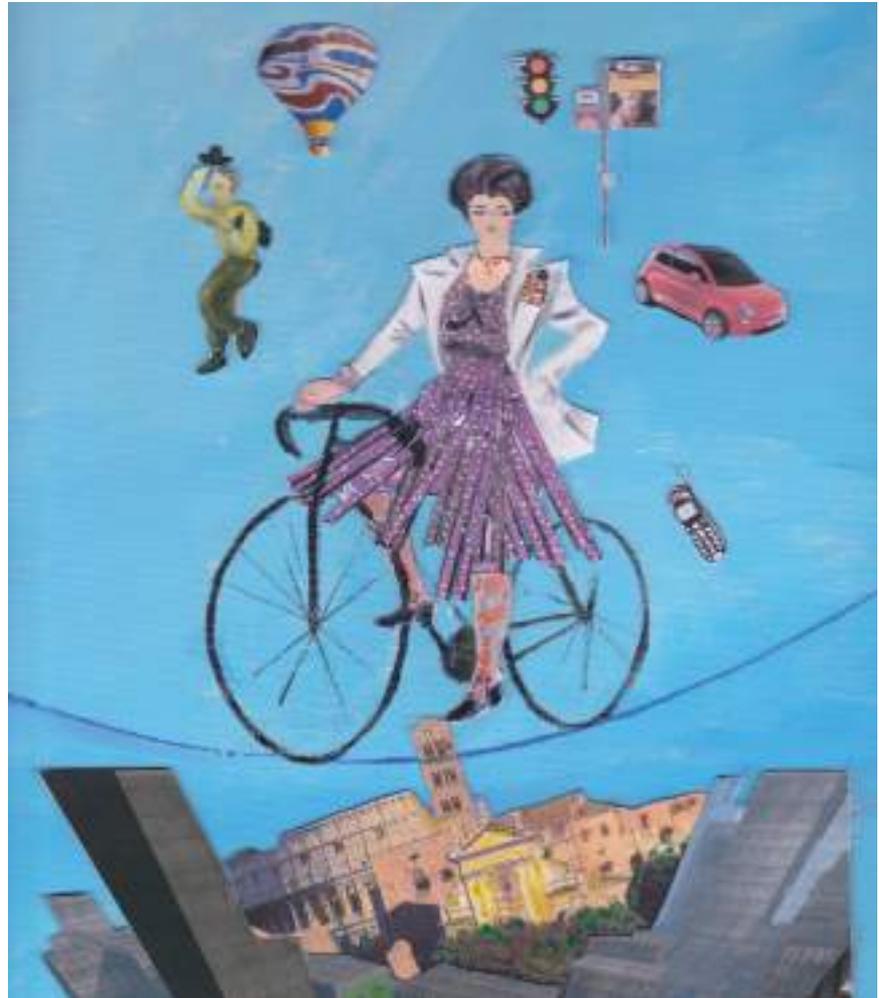
Fonte: elaborazione ENEA dei dati EfficientCITIES, Cittalia

del 2013, commissionato da Siemens, le città che hanno predisposto il PUM sono 35 (Tabella 4).

Il PUM italiano, in ultima analisi, è simile al PUMS introdotto dalla Commissione Europea: infatti, in base a quanto afferma la normativa di riferimento sopra detta, il PUM è un progetto *integrato* di mobilità urbana, che raccoglie e coordina progetti del sistema della mobilità comprendenti l'insieme organico degli interventi sulle infrastrutture di trasporto pubblico e stradali, sui parcheggi di interscambio, sulle tecnologie, sul parco veicoli, sul governo della domanda di trasporto attraverso la struttura dei *mobility manager*, i sistemi di controllo e di regolazione del traffico, l'informazione all'utenza, la logistica e le tecnologie destinate alla riorganizzazione della distribuzione delle merci nelle città.

Il PUM, però, per diventare PUMS necessita di ulteriori elementi propri del secondo ed assenti nel primo. Ad esempio, nel caso della "partecipazione", il PUMS prevede sempre il coinvolgimento degli *stakeholder* e del pubblico in generale mentre nel caso del PUM questo avviene solamente se si rende obbligatoria una procedura di Valutazione Ambientale Strategica.

Inoltre, come precedentemente richiamato, il PUMS prevede la predisposizione di una serie di piani di settore, tra cui anche il piano della ciclabilità, quello della diffusione delle tecnologie telematiche e una periodica attività di monitoraggio e valutazione. Tra le città italiane che hanno deliberato il PUM, alcune sono andate nella direzione di un



vero e proprio PUMS.

Tra queste, ancor prima del varo dello Urban Mobility Package, nel 2008, il Comune di Torino¹¹ aveva predisposto un PUMS descrivendo in maniera dettagliata la situazione di partenza e le azioni che intendeva realizzare in tutte le tematiche previste dalla Commissione Europea; inoltre era stata predisposta una serie di indicatori per le attività di monitoraggio e verifica.

Milano¹² ha avviato il procedi-

mento per la redazione del nuovo PUMS nel 2012, stabilendo 10 linee di indirizzo che puntano sulle infrastrutture di trasporto pubblico, accessibilità e sicurezza, mobilità dolce e condivisa. Parma¹³ è uno degli esempi migliori per le politiche di mobilità sostenibile e il PUM comunale è stato integrato (divenendo PUMS) da una serie di piani di settore, come il BiciPlan, il Piano della Sosta e le varie carte tematiche della mobilità. Reggio Emilia¹⁴

ha elaborato il suo PUM, anch'esso integrato (quindi PUMS) con il BiciPlan e le Zone 30¹⁵ nel centro storico. Prato¹⁶ ha recentemente avviato l'elaborazione del nuovo PUMS, da parte di un apposito staff scientifico definito come LaMos, ossia "Laboratorio per la Mobilità Sostenibile". Roma¹⁷ nel 2009 ha elaborato un Piano Strategico per la Mobilità Sostenibile con linee di indirizzo alle quali conformare gli strumenti di pianificazione della mobilità, come il Piano Generale

del Traffico Urbano e i Piani Particolareggiati del Traffico, il Programma Urbano della Mobilità e il Piano Regolatore Generale. Con riferimento al progetto "Boosting Urban Mobility Plans (BUMP) richiamato nel primo paragrafo, tra i 37 Comuni europei che hanno passato la selezione per partecipare al progetto, più della metà è costituita da Comuni italiani. Si tratta di 15 Comuni e 1 aggregazione di tre Comuni: Alessandria, Arezzo, Brescia, Cremona, Ferrara, Livor-

no, Novara, Padova, Parma, Pavia, Pesaro, Pordenone, Prato, Ravenna, Vasto e l'aggregazione Monfalcone-Ronchi-Staranzano. Il potenziale nazionale che potrebbe essere coinvolto nella predisposizione e realizzazione dei PUMS (in base al Censimento ISTAT 2011) è pari a 50 aree urbane, considerando quelle con popolazione superiore a 100.000 abitanti. Tali aree coinvolgono 599 Comuni e 23.957.690 abitanti, pari al 40% della popolazione residente. ●

bibliografia

- Green Paper "Towards a new culture for urban mobility" [COM(2007)55].
 Commissione Europea, "Action Plan on Urban Mobility" [COM(2009) 490/5].
 White Paper "Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system" [COM(2011)0144 final].
 Commissione Europea, "Together towards competitive and resource-efficient urban mobility" [COM(2013) 913 final].
 Ecorys, CENIT e COWI (2013), "Study to support an impact assessment of the urban mobility package", n. AO32862_Urban Mobility Package_IA of SUMP_Final Report.
 Gart (2009), avril 2010, "Plans de Déplacements Urbains: panorama 2009 - Résultat d'enquête et perspectives".
 Legge 24 novembre 2000, n. 340, "Disposizioni per la delegificazione di norme e per la semplificazione di procedimenti amministrativi".
 Rupprecht Consult and Edinburgh Napier University, September 2012, "The state of the art of Sustainable Urban Mobility Plans in Europe", Deliverable 2.2, n. EACI/IEE/2009/05/S12.558822.
 Cittalia (2013), "EfficientCITIES – Città-modello per lo sviluppo del Paese": http://www.swe.siemens.com/italy/web/citta_sostenibili/efficiencities/Documents/Studio-EfficienCITIES.pdf
 15° Censimento popolazione e abitazioni 2011:
<http://www.istat.it/it/censimento-popolazione/popolazione-2011>

note

1. Comunicazione della Commissione SWD(2013) 524 final – Logistic.
2. Comunicazione della Commissione SWD(2013) 526 final - A call for smarter urban vehicle access regulations.
3. Comunicazione della Commissione SWD(2013) 527 final - Mobilising Intelligent Transport Systems for EU cities.
4. Comunicazione della Commissione SWD(2013) 525 final - Targeted action on urban road safety.
5. <http://www.epomm.eu/endurance/index.php?id=2795>
6. <http://www.bump-mobility.eu/it/news/elenco-partecipanti.aspx>
7. <http://www.mobilityplans.eu/index.php?ID1=8&id=8>
8. In questo ultimo processo, un'importante opportunità deriva dall'accresciuta disponibilità di dati provenienti da sensori mobili (smartphone, On-Board Unit ecc.)
9. "Nuovo Codice della strada", DLgs 285/1992 e s.m..
10. Cittalia-Fondazione ANCI Ricerche: struttura dell'ANCI dedicata agli studi e alle ricerche sui temi di principale interesse per i Comuni italiani.
- 11., <http://www.comune.torino.it/geoportale/pums/cms/>
12. http://www.comune.milano.it/portale/wps/portal/CDM?WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/contentlibrary/Ho%20bisogno%20di/Ho%20bisogno%20di/PUM%20Piano%20Urbano%20della%20Mobilita&catelId=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM_Category/IT_CAT_Bisogni_10/2fba5980446e01b0babdbbd36d110d8a/PUBLISHED&catelId=IT_CAT_Bisogni_10&type=content
13. <http://www.comune.parma.it/citta/mobilita-e-trasporti/approfondimento/Piani-di-Settore.aspx>
14. <http://www.municipio.re.it/retecivica/urp/retecivi.nsf/DocumentID/47ADE3737F937D5FC1257B6D00277AAD?opendocument>
15. Una Zona 30 è un'area della rete stradale urbana dove il limite di velocità è di 30 chilometri orari invece dei consueti 50 previsti dal codice stradale in ambito urbano.
16. <http://www.gonews.it/2014/il-laboratorio-per-la-mobilita-sostenibile-approda-in-commissione/#.UwYNNc6lBHA>
17. http://www.comune.roma.it/wps/portal/pcr?jppagecode=mob_piano_str_mob_sost.wp

Adattamento ai cambiamenti climatici: il ruolo trascurato degli ecosistemi

La gravità dei cambiamenti climatici in atto richiede adeguate misure di mitigazione e di adattamento. Finora le misure di adattamento si sono concentrate sulle cosiddette *hard structures* (dighe, invasi ecc.), mentre sono state trascurate le misure *ecosystem-based*, ossia le azioni rivolte ad una gestione sostenibile del territorio attraverso interventi di conservazione, recupero e restauro dei servizi ecosistemici. Diversi casi degni di esempio dimostrano che questo approccio, mirato al rafforzamento della resilienza e alla riduzione delle vulnerabilità della biodiversità ai cambiamenti climatici, sia più efficace e allo stesso tempo economicamente più conveniente

DOI 10.12910/EAI2014-61

■ Lorenzo Ciccarese, Stefania Mandrone, Piera Pellegrino, Chiara Vicini

Introduzione

Il primo volume del quinto rapporto di valutazione dell'*Intergovernmental Panel on Climate Change* conferma la tendenza all'aumento della temperatura media della superficie terrestre: questa era pari a 14,15° C nel 1880 e ha raggiunto 15 °C nel 2012. Gli andamenti climatici sono sempre più violenti e sempre meno prevedibili (IPCC, 2013). L'intensità degli eventi estremi, incluse le ondate di calore, gli uragani e le piogge torrenziali, è aumentata in molte regioni del pianeta. Tra il 1901 e il 2012 il livello degli oceani è aumentato di 19 cm. L'acidità

delle acque oceaniche è cresciuta, portando un serio rischio alle barriere coralline.

La causa principale del cambiamento climatico è per l'IPCC chiara: il crescente accumulo in atmosfera di gas serra, quali l'anidride carbonica (CO₂), l'ossido d'azoto (N₂O), il metano (CH₄) e altri gas d'origine industriale¹. Dall'inizio della rivoluzione industriale ad oggi la concentrazione di CO₂ atmosferica è cresciuta da 280 a 398 parti per milione (ppm). Nel periodo 1995-2013, il tasso di crescita della CO₂ atmosferica è stato pari a 2 ppm l'anno, il più alto da quando sono iniziate le misure dirette in continuo dell'atmosfera. L'accumulo in atmosfera dei gas serra è prevalentemente causato dall'azione umana ed è legato per il 75% alla combustione delle fonti fossili d'energia e alla produzione

di cemento che, nel corso del decennio 2000-2010, sono stati causa dell'immissione in atmosfera di 30 miliardi di tonnellate di anidride carbonica l'anno. La parte restante dell'incremento deriva dalla trasformazione d'uso del suolo (principalmente da foreste ad altre forme d'uso), dalla degradazione delle foreste e dall'evoluzione delle pratiche agricole.

Per il futuro gli scenari prospettati dall'IPCC sono poco rassicuranti. I trend della popolazione e dei consumi di risorse naturali (incluse le fonti fossili di energia) potrebbero aggiungere altri 2000 miliardi di tonnellate di CO₂ entro il 2050, con possibili ulteriori effetti sulla temperatura media terrestre. Gli esperti dell'IPCC sono convinti che – qualora le emissioni globali di gas serra mantengano l'attuale livello – la temperatura media

■ Lorenzo Ciccarese, Stefania Mandrone, Piera Pellegrino, Chiara Vicini
ISPRA, Difesa della Natura



globale possa aumentare di 2-6 °C entro la fine del secolo in corso rispetto a quella del periodo 1980-1999. Variazioni termiche di questa magnitudine porterebbero impatti disastrosi sulla salute umana, sulla produzione agroalimentare, sulle risorse idriche ed energetiche, sui settori produttivi e sulla biodiversità. Il livello degli oceani potrebbe aumentare di oltre 60 cm tra il 2081 e il 2100, con rischi gravissimi di inondazione per le città costiere e di impatti disastrosi sugli ecosistemi costieri.

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità

Già il quarto rapporto di valutazione dell'IPCC (Fischlin *et al.*, 2007) e numerosi studi successivi (Campbell *et al.*, 2009) hanno indicato che i cambiamenti climatici stanno producendo alterazioni significative sulla biodiversità e i servizi ecosistemici. Più recentemente, il secondo volume del quinto rapporto dell'IPCC (2014) ha confermato che le anomalie climatiche sono causa di modificazioni dei processi fisiologici (fotosintesi, respirazione, crescita delle piante, efficienza di utilizzo dell'acqua, composizione dei tessuti, metabolismo e decomposizione ecc.) e impatti significativi a livello genetico, di specie (con variazioni di fenologia, distribuzione, popolazione) e di ecosistema (in termini di distribuzione, composizione, struttura, funzione, fenologia, servizi ecosistemici) (Sala *et al.*, 2000; Chuine *et al.*, 2005; Thuiller, 2008; Campbell *et al.*, 2009).

Esiste anche in Italia una corposa letteratura a dimostrazione degli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi già in corso (Bindi *et al.*, 1996; Maracchi, 2005; Maracchi *et al.*, 2005; Stanisci *et al.*, 2005; Moriando e Bindi, 2007; Cannone *et al.*, 2007; Cannone *et al.*, 2008; Carraro e Sgobbi, 2008; Orlandini *et al.*, 2009). Gli impatti osservati includono lo spostamento verso Nord e verso quote più elevate del *range* geografico di molte specie, sia in ecosistemi naturali e semi-naturali sia artificiali. L'estensione della stagione vegetativa ha determinato un aumento della produttività nella regione bio-geografica alpina; viceversa, nella regione bio-geografia mediterranea le condizioni climatiche più calde e più secche sono state finora responsabili di una riduzione della produttività agricola e forestale, oltre che dell'aumento della frequenza e della severità degli incendi boschivi e dei maggiori danni da parassiti e da patogeni. La regione alpina e gli ecosistemi montani sono considerati particolarmente vulnerabili agli impatti dei cambiamenti climatici (Campbell *et al.*, 2009). Possibili variazioni potranno riguardare la struttura delle comunità vegetali montane e la migrazione a quote maggiori e a nord di animali e piante.

Per la regione mediterranea, a fronte di scenari climatici di riduzione delle precipitazioni (specialmente nel periodo estivo) e dell'aumento della temperatura al di sopra dei valori previsti per la scala globale, si prevede un'e-

spansione degli adiacenti sistemi aridi e semi-aridi. Gli esperti prevedono una variazione della distribuzione spaziale della flora e la contrazione della distribuzione delle foreste, specialmente nel Meridione d'Italia; le specie endemiche mediterranee affronteranno le minacce maggiori, a causa della prevista riduzione delle precipitazioni, la maggiore intensità degli incendi, l'aumento dei fenomeni erosivi, l'alterazione della fenologia e della stagione vegetativa, della funzione e della produttività degli ecosistemi. Gli effetti positivi della fertilizzazione carbonica potrebbero essere neutralizzati dalla limitata disponibilità di acqua e dalle più elevate temperature. Effetti significativi si avranno sulla distribuzione spaziale della fauna (mammiferi, rettili e anfibi), specialmente nelle aree del Paese dove la frammentazione e il consumo di suolo sono un problema, e sulla consistenza delle aree umide mediterranee (particolarmente importanti per la conservazione di specie endemiche per il loro ruolo nella migrazione degli uccelli). L'aumento delle temperature medie e la modificazione dei processi di precipitazione sono i fattori climatici che producono gli effetti più significativi. Ciò è abbastanza intuitivo se consideriamo che le condizioni climatiche determinano le specie vegetali e animali che possono vivere, crescere e riprodursi in una determinata regione geografica e che alcune specie sono talmente legate alle condizioni climatiche (principalmente temperature e piovosità) a



cui si sono adattate che un leggero aumento della temperatura o una piccola riduzione delle piogge o una impercettibile alterazione d'un altro parametro climatico possono aumentarne la vulnerabilità. Un ulteriore fattore d'impatto è rappresentato dalla maggior intensità con cui si presentano gli eventi estremi (uragani, tempeste, ondate di caldo). Gli impatti e le risposte degli ecosistemi agricoli e forestali ai trend dei cambiamenti climatici diventeranno sempre più acuti, anche se di entità diversa, a seconda delle regioni geografiche e dei tipi di vegetazione (Dormann *et al.*, 2008; IPCC, 2014).

Per quanto riguarda l'agricoltura, gran parte delle ricerche indica che i cambiamenti climatici avranno effetti mediamente negativi sulla capacità produttiva del settore (Nelson *et al.*, 2009). Gli impatti più significativi interesseranno le regioni più povere del pianeta, dove

anche variazioni minime del regime climatico potranno avere effetti sensibili sulle popolazioni locali (Altieri e Koochafkan, 2008).

Le mutate condizioni climatiche potrebbero esaltare il potenziale invasivo di alcune specie esotiche e creare circostanze più favorevoli per alcune specie rispetto ad altre, determinando nel complesso una profonda alterazione delle interazioni all'interno delle comunità vegetali e portando a nuove forme di dominanza e di funzionamento degli ecosistemi. I disturbi abiotici per le aree naturali potrebbero in generale aumentare, anche se gli impatti saranno diversi da regione a regione e in relazione ai diversi sistemi di gestione forestale.

In particolare, l'aumento della temperatura potrebbe impedire alle piante di completare la loro richiesta di freddo, ridurre il processo d'indurimento al freddo (*cold-hardiness*), aumentare la perdita degli

aghi e diminuire la fruttificazione. I danni da freddo saranno minori nella stagione invernale, mentre saranno invariati quelli da gelate primaverili e più severi quelli da gelate autunnali (proprio a causa del ritardo dell'*hardening*). Temperature crescenti e precipitazioni ridotte, combinate all'abbandono delle aree rurali e della gestione forestale, potrebbero avere l'effetto di aumentare la frequenza e la severità degli incendi nella regione mediterranea. Alcuni autori, viceversa, ritengono che la fertilizzazione carbonica potrebbe diminuire i rischi d'incendio, poiché l'aumento dell'efficienza di uso dell'acqua da parte della vegetazione porterebbe a una diminuzione della richiesta di acqua e una maggiore disponibilità di umidità nella lettiera e nel suolo. Per il futuro, gli studi più accreditati – basati su ricerche sperimentali, combinazione di modelli ecologici in relazione a differenti scenari di variazioni climatiche, e modelli dei processi fisiologici – affermano che gli impatti del riscaldamento globale e le risposte degli ecosistemi e del paesaggio possono essere molto rilevanti, anche se di entità diversa a seconda delle regioni geografiche e dei tipi ecosistemici. In più, gli scienziati sono preoccupati per le interazioni ecologiche tra ecosistemi e clima e l'innescare di meccanismi biogeochimici che possono generare retroazioni (*feedback*) positive, le quali a loro volta possono portare a impatti severi, imponderabili, sulla biodiversità e sui servizi ecosistemici da meccanismi di retroazione (*feedbacks*)².

L'UNFCCC e l'adattamento ai cambiamenti climatici

La prima significativa risposta della comunità internazionale ai cambiamenti climatici è stata l'*United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Siglata nel 1992, l'UNFCCC riconosce i cambiamenti climatici come una seria minaccia per l'umanità e introduce l'obiettivo ultimo di evitare pericolose interferenze con il sistema climatico globale. L'UNFCCC individua due strumenti principali per contrastare i cambiamenti climatici: la mitigazione e l'adattamento.

La mitigazione comporta l'eliminazione o, almeno, la riduzione delle cause del cambiamento in modo da ritornare alle condizioni iniziali o non allontanarsi troppo da queste. Questo implica il contenimento o la riduzione dell'uso delle fonti fossili di energia, della distruzione e degradazione degli *habitat* e, conseguentemente, della quantità di gas-serra emessi in atmosfera. Una strategia aggiuntiva è quella di aumentare la capacità fissativa degli ecosistemi o il ricorso alle tecniche di georingegneria, tra cui la *carbon sequestration and storage*.

L'adattamento – che comporta l'accettazione del cambiamento³– richiede l'adeguamento dei sistemi naturali o antropici in risposta agli stimoli climatici e ai loro effetti, al fine di ridurre i danni, favorire la resilienza e perfino generare vantaggi.

Esempi di misure di adattamento possono essere la costruzione di difese contro eventuali inondazio-

ni e l'innalzamento degli argini artificiali per combattere l'innalzamento del livello dei mari, lo spostamento preventivo delle città e delle infrastrutture esposte all'innalzamento del livello del mare, l'identificazione di specie e varietà agricole più adatte alle mutate e mutanti condizioni climatiche, la progettazione di nuove soluzioni abitative e in generale la programmazione dello sviluppo di nuove aree o attività e la gestione della crisi di altre. Le strategie di adattamento giungono a contemplare il dislocamento d'interpolazioni prima che queste siano spinte dalle condizioni avverse ad abbandonare le proprie terre.

Alcuni Paesi europei⁴ per dare seguito alla strategia UE di adattamento ai cambiamenti climatici, hanno sviluppato i propri piani, concentrandosi sulla dimensione tecnologica, infrastrutturale, sociale ed economica, trascurando le relazioni esistenti tra biodiversità e adattamento. Eppure, l'adattamento ai cambiamenti climatici coinvolge la biodiversità e i servizi ecosistemici da diverse prospettive:

1. la biodiversità ha un ruolo importante nella capacità delle società di adattarsi ai cambiamenti climatici;
2. la biodiversità può subire impatti negativi dalle stesse misure di adattamento ai cambiamenti climatici, specialmente nei Paesi ad alto grado di sviluppo;
3. le politiche di conservazione della biodiversità richiedono esse stesse strategie di adattamento.

Il ruolo della biodiversità nelle misure di adattamento ai cambiamenti climatici

Esistono diversi casi degni di esempio che dimostrano come le misure di adattamento *ecosystem-based*, mirati al rafforzamento della resilienza degli ecosistemi, siano più efficaci ed economicamente più convenienti rispetto alle misure basate sulle cosiddette *hard structures* (dighe, invasi ecc.). Nel caso degli interventi di adattamento a difesa delle aree costiere, minacciate dall'innalzamento del livello del mare, dall'intrusione salina e dagli eventi meteo estremi, il restauro delle dune di sabbia e delle aree umide costiere può svolgere un ruolo efficace nella protezione delle coste. Inoltre, il recupero degli ecosistemi costieri per finalità di adattamento garantiscono nel contempo la fornitura di risorse (ittiche ecc.) e una maggiore flessibilità delle società locali nell'adattarsi ai cambiamenti climatici. Non sempre, tuttavia, gli ecosistemi costieri potranno essere in grado di ridurre gli impatti. In quei casi è auspicabile integrare le misure *hard structure* con una corretta pianificazione territoriale. I sistemi naturali di acqua dolce forniscono servizi vitali di regolazione dell'acqua e possono svolgere un ruolo chiave nell'adattamento a eventi estremi quali scarsità idrica o inondazioni. Le azioni volute a ridurre il degrado dei bacini idrografici, attraverso un'attenta gestione delle foreste e dei suoli agricoli, il restauro forestale e la conservazione del suolo possono ridurre la vulnerabilità alla siccità.



tà. Inoltre, il mantenimento e il ripristino dei servizi di regolazione dell'acqua svolto dalle zone umide sono anch'essi importanti per il controllo delle inondazioni. In agricoltura, la diversificazione dei sistemi agricoli, in grado di integrare nuove varietà colturali, è un elemento essenziale per il mantenimento della produzione alimentare nella condizione di variabilità della temperatura, della precipitazione e dei parametri climatici. La gestione delle risorse naturali, tra cui l'acqua e il suolo, basata su buone pratiche agronomiche, avrà un ruolo importante nella capacità di adattamento dell'agricoltura, in particolare nelle zone a clima subarido e arido del Paese. In questo senso, le pratiche agronomiche contemplate dall'agricoltura biologica accrescono la resilienza dei

sistemi agricoli ai cambiamenti climatici.

In Italia, la discussione sulle foreste e sulla selvicoltura in relazione al cambiamento climatico si è finora concentrata prevalentemente sul loro ruolo nella mitigazione. Tuttavia, le foreste forniscono una gamma di servizi provvisori e di regolazione che rafforzano la resilienza delle società rurali di fronte ai cambiamenti climatici. Inoltre, come dimostrano numerosi casi di successo, gli interventi forestali sono più efficaci e più economicamente convenienti degli impianti convenzionali in quanto riescono ad associare benefici ambientali, sociali ed economici a quelli derivanti dall'adattamento ai cambiamenti climatici.

Va ricordato, infine, il ruolo rilevante, anche se trascurato, all'in-

terno della progettazione urbana e dei piani di adattamento, che la gestione delle aree verdi urbane e la selvicoltura urbana e peri-urbana assumono nelle strategie di adattamento. Un'adeguata progettazione e gestione delle aree verdi, naturali o artificiali, e la messa a dimora di singoli alberi, possono aiutare a ridurre gli stress climatici, fornendo protezione alle abitazioni e agli uffici (riducendo il fabbisogno di riscaldamento) e riducendo le temperature massime estive, sia all'interno degli ambienti di vita e di lavoro (riducendo il fabbisogno di condizionamento), sia all'esterno (si pensi per esempio all'effetto ombreggiante degli alberi a chioma larga nei parcheggi); oppure a contenere gli effetti degli eventi estremi. Le foreste urbane possono aiutare le comunità ad adattarsi ai cambiamenti climatici attraverso il miglioramento della qualità della vita.

Gli impatti delle misure di adattamento sulla biodiversità

Finora pochi Paesi hanno avviato l'implementazione delle strategie di adattamento ai cambiamenti climatici. Ciò rende abbastanza ristretto il volume dei dati e delle informazioni sugli effetti delle strategie di adattamento sulla biodiversità. Tuttavia la letteratura scientifica riporta diversi esempi di interventi di adattamento che sono risultati svantaggiosi per la biodiversità (Campbell *et al.*, 2009; Nauman *et al.*, 2013; IPCC, 2014). Ciò è avvenuto in modo particolare nel caso di opere realizzate per prevenire inondazioni e

di regolare piene ed esondazioni, senza salvaguardare le proprietà naturali degli ecosistemi costieri (Moss *et al.*, 2013). Viceversa, strategie di adattamento che integrano la gestione delle risorse naturali, come per esempio l'adozione di pratiche agricole sostenibili, non possono essere altro che benefiche per la biodiversità (in questo senso, nell'UE, le condizioni posti dalle direttive VIA e VAS sono una valida garanzia).

L'adattamento nella conservazione della biodiversità

Man mano che accresce l'evidenza e la portata degli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi naturali, aumenta anche il bisogno di sviluppare misure di adattamento nel settore della conservazione della biodiversità. Il cambio è necessario, non solo per conseguire la conservazione della biodiversità, ma anche per rafforzare il ruolo della stessa nel processo di adattamento delle società agli effetti dei cambiamenti climatici. Alcune strategie, quali il miglioramento della progettazione delle aree protette, il mantenimento della connettività degli *habitat* all'interno di un'area vasta e la riduzione delle pressioni antropiche su quell'area, possono evidentemente aumentare la resilienza della biodiversità ai cambiamenti climatici.

Va segnalato, infine, che le azioni che portano ad aumentare la resilienza degli ecosistemi favoriscono anche il loro ruolo nella mitigazione del cambiamento climatico. L'espansione del sistema



delle aree protette ed un'azione più incisiva per la salvaguardia delle aree agricole ad alto valore naturalistico appaiono prioritarie, come pure la creazione di corridoi ecologici per la diffusione e la propagazione delle specie e la connessione degli ecosistemi.

Conclusioni

Le misure di conservazione della biodiversità, di restauro ambientale e di gestione sostenibile delle aree agricole e forestali e della pesca, possono ridurre gli effetti dei cambiamenti climatici fornendo protezione alle colture ed agli animali, riducendo i fenomeni erosivi e gli effetti degli eventi climatici estremi, migliorando le caratteristiche fisiche e chimiche dell'acqua, concorrendo alla costruzione del reddito delle comunità rurali colpite dai cambiamenti climatici. Esistono numerosi esempi di adattamento

ai cambiamenti climatici, anche in Italia, che dimostrano come gli interventi agro-forestali, di protezione della natura e di recupero di aree degradate siano più efficaci e più convenienti degli impianti convenzionali, e come essi riescano ad associare benefici ambientali, sociali ed economici al fine dell'adattamento ai cambiamenti climatici.

Molte incertezze permangono, associate agli impatti dei cambiamenti climatici sugli ecosistemi naturali, semi-naturali e sui settori agricolo e selvicolturale, che non possono, però, ritardare l'adozione di misure di adattamento, ma devono spingere i decisori politici a utilizzare tutti gli strumenti per implementare misure che aumentino la resilienza di detti sistemi. Per rispondere alla sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici c'è bisogno del sostegno della ricerca, chiamata ad elabo-

rare modelli più affidabili di cambiamento climatico, anche a scala locale, a comprendere meglio la vulnerabilità delle foreste agli stress multipli, a trovare soluzioni per migliorare la resilienza delle foreste. Le questioni chiave sono l'identificazione della vulnerabilità delle foreste nazionali e delle priorità su dove e quando inter-

venire e la combinazione più efficace di misure di conservazione in base al livello di spesa disponibile. In definitiva, è necessario avere una prospettiva ampia, analizzando come gli ecosistemi possono essere gestiti e conservati al fine di fornire servizi ecosistemici in un clima che cambia, nel contesto della politica globale di

adattamento. Ci deve essere una maggiore considerazione delle sinergie e dei *trade-off* nelle politiche di adattamento e di pianificazione, compresa una maggiore comprensione del ruolo della biodiversità, al fine di evitare un adattamento sconveniente e sviluppare risposte efficaci agli impatti dei cambiamenti climatici. ●

bibliografia

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Parry, Martin L., Canziani, Osvaldo F., Palutikof, Jean P., van der Linden, Paul J., and Hanson, Clair E. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 976 p. ISBN 978 0521 88010-7 hardback ISBN 978 0521 70597-4 paperback.

Dunlop M, 2013. Biodiversity: Strategy conservation. *Nature Climate Change* 3:1019–20 doi:10.1038/nclimate2063

Naumann S, Anzaldúa G, Berry P, Burch S, Davis M, Frelih-Larsen A, Gerdes H, Sanders M (2011). Assessment of the potential of ecosystem-based approaches to climate change adaptation and mitigation in Europe. Final report to the European Commission, DG Environment, Contract no. 070307/2010/580412/SER/B2, Ecologic institute and Environmental Change Institute, Oxford University Centre for the Environment.

Campbell A, Kapos V, Scharlemann JPW, Bubba P, Chenery A, Coad L, Dickson B, Doswald N, Khan MSI, Kershaw F, Rashid M (2009) Review of the Literature on the Links between Biodiversity and Climate Change: Impacts, Adaptation and Mitigation. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series No. 42, 124 p.

IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Summary for Policymakers*. Disponibile al sito http://ipcc-wg2.gov/AR5/images/uploads/IPCC_WG2AR5_SPM_Approved.pdf.

Moss RH et al. (2013) Hell and High Water: Practice-Relevant Adaptation Science. *Science* 342:696-8. DOI: 10.1126/science.1239569

note

1. I gas-serra hanno diversi effetti sui fenomeni di riscaldamento globale. Essi sono misurati tramite il Global Warming Potential (GWP), l'indicatore che viene impiegato, per esigenze di omogeneizzazione, per convertire i diversi gas in CO₂ equivalenti. Nell'arco di 100 anni una molecola di CH₄ ha un GWP 21 volte superiore a quello d'una molecola di CO₂, una molecola di N₂O ha un GWP 310 volte superiore.
2. I feedback possono essere sia positivi sia negativi. I primi amplificano la forzante e generano instabilità, i secondi contrastano la forzante e mantengono le condizioni stabili nonostante la perturbazione. Esempi di feedback positivi sono: l'aumento delle emissioni di CH₄ e altri gas-serra derivanti dal disgelo – a sua volta causato dal riscaldamento globale – delle torbiere permanentemente gelate della regione boreale; o delle emissioni di gas-serra da parte delle foreste tropicali a seguito di prolungati e intensi periodi di siccità; o la riduzione dell'albedo dovuto alla contrazione dei ghiacciai alpini e polari.
3. Infatti, anche se si dovesse interrompere da domani l'accumulo di gas-serra in atmosfera, l'eccesso di gas-serra già presente in atmosfera continuerebbe a far sentire gli effetti sul sistema climatico nei prossimi 30–40 anni.
4. Al momento 15 Paesi UE hanno completato la redazione della strategia nazionale di adattamento. Nel 2012 il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha avviato un processo per l'elaborazione della Strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Questo processo, realizzato con il coordinamento tecnico-scientifico del Centro euro-mediterraneo sui cambiamenti climatici, ha portato alla predisposizione del documento 'Elementi per una Strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici'.



RF detection and anomalous heat production during electrochemical loading of deuterium in palladium

The production of excess power during electrochemical loading of palladium with deuterium was discovered in 1989 by Prof Martin Fleischmann and Prof Stanley Pons. In this article a picture of the research activities performed to correlate the effect and the material status is given. The structures of the electrochemical interface during the excess event and in the absence of excess power are compared, revealing a resonant equivalent circuit when the electrode is active. RF signals have also been detected when the anomalous heat production takes place

DOI 10.12910/EAI2014-62

■ *Vittorio Violante, Emanuele Castagna, Stefano Lecci, Guglielmo Pagano, Mirko Sansovini, Francesca Sarto*

Introduction

The phenomenon of excess power production during electrochemical loading of deuterium in palladium (in the past labeled as cold fusion, even if so far a clear signature in this direction is not yet available), is not yet understood, although during the last two decades in several calorimetric experiments the effect was observed to be well above the measurement uncertainties. The lack of reproducibility has been so far responsible for the absence of a clear explanation of the phenomenon. The study performed during the last decade highlighted that the reproducibility of the effect is related with the status of the material. Upon examination of the cathodes that produce excess power, and of those made by a variety of techniques that do not produce excess power, many differences were noted that we believe are responsible for the lack of excess power results. Specifically: texture of the foils, grain size, crystal orientation, presence of impurity elements in Pd, surface morphology and roughness.

These differences were noted by performing many analyses including Scanning Electron Microscopy

(SEM), X Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS), confocal microscopy, Inductively Coupled Plasma (ICP)-Mass Spectroscopy (ICP-MS), Electron Backscattering Spectroscopy (EBSD), X Ray Fluorescence Spectroscopy (XRF), Raman Spectroscopy, Atomic Force Microscopy (AFM), and Angle Resolved Optical Scattering. Thus, prior research has shown that the occurrence of the effect is correlated with the material properties of the cathodes. Excess heat production was observed in different laboratories when using the same palladium-based material to manufacture the cathodes of the electrolytic cell. Analogously, negative results have been observed when using cathodes having different characteristics. In particular, it was found that a very high deuterium concentration in palladium (not less than 0.9 atomic fraction) was a necessary condition to observe the effect [1].

■ *Vittorio Violante, Emanuele Castagna, Stefano Lecci, Guglielmo Pagano, Mirko Sansovini, Francesca Sarto*
ENEA, Technical Unit for Nuclear Fusion

A metallurgical process developed at ENEA in order to optimize the hydrogen isotopes solubility in palladium [2-7] proved to be instrumental to the purpose. Furthermore, surface morphology (identified by means of power spectral density function -PSDF-), crystal orientation and mass transfer properties were identified to be correlated with the occurrence of the effect. The experimental results highlighted that the cathode behavior is significantly affected by the initial status of the material. For this reason a continuation of the study would be very helpful in order to get deeper into understanding the mechanisms responsible for the occurrence of the effect and to identify the features of the rough material that may affect the mechanisms, whether positively or negatively.

The spectrum of contaminants has been correlated to the material features since contaminants may act on crystal orientation, grain size, mass transfer and surface morphology as they modify the effect of chemical etching. Such a scenario has led to the production of doped palladium and palladium alloys.

A recent study [8] performed in ENEA did reveal that also the interface electrochemical equivalent circuit modifies at the onset of the effect: a resonant circuit structure has been identified inside the equivalent circuit.

Excess power:

- 1) Is a threshold effect (loading D/Pd > 0.9)
- 2) Is not observed with hydrogen
- 3) Is unexplainable as chemical effect
- 4) Occurs only if materials are showing specific characteristics as proper crystal orientation, proper structure of the grain boundaries, defined surface morphology, enhanced hydrogen isotopes mass transfer
- 5) Gives evidence that the cathode is undergoing resonance of some kind during excess heat events as measured by RF emission and by electrochemical impedance spectroscopy [8, 13].

A primary characteristic is the fact that there are high frequency resonance phenomena driven by electrolysis that play a role in any mechanism of FPE and have gone essentially undiscovered until now.

Another characteristic is the fundamental role played by material science. Indeed we believe that material status is the key to observe the effect and material science

plays a key role to understand it, since some material characteristics support some processes rather than others.

Experimental evidence and electrochemical oscillations during an excess power event

Material science research led to the conclusion that some contaminants are necessary to increase the probability to observe the onset of the effect [8]. As rhodium addition produced remarkable results [9], then Pd90Rh10 cathodes have been prepared by applying the protocol developed at the Naval Research Laboratory (NRL) [13]. Palladium and Rhodium have been melted at 90/10 atomic ratio in an alumina crucible by using a Oxyacetylene torch. Material annealed 900 °C 2h, then rolled to 1 mm, then annealed again 900 °C 2h, then rolled to 50 microns and annealed as always. After rolling, the sample was annealed again at 850 °C and then etched with Aqua Regia. Figure 1 shows the surface of sample L119(20-60) after chemical etching.

Figure 2 shows the PSD of the surface of L119(20-60). PSD have been calculated by using AFM images.

A calorimetric study on sample L119(20-60) was performed by using the differential calorimeter developed at NRL [10], and the time trend of both input and output power is shown in Figure 3: here, excess power spontaneously develops after $\sim 2.90E+5$ s elapsed time and remains stable for about 12 hr. The possible effect due to a bias shift of the calorimetric system was checked by inverting the current and de-loading the cathode. When the cathode was de-loaded an input power level was applied as close as to the one existing before changing the polarity. After the thermal transient (with some adjusting of the input power at the required level), a perfect balance between power input and output was observed, i.e. the input and output curves were overlapping as shown in Figure 3. This confirmed that the signal was a real effect.

The polarity was then reversed again and PdRh was reloaded at a higher current value. As soon as the cathode was reloaded (~ 355000 s elapsed time) the system again produced an excess power event that was larger than the previous one.

Figure 4 shows the same calorimetric run after $5.30E+5$

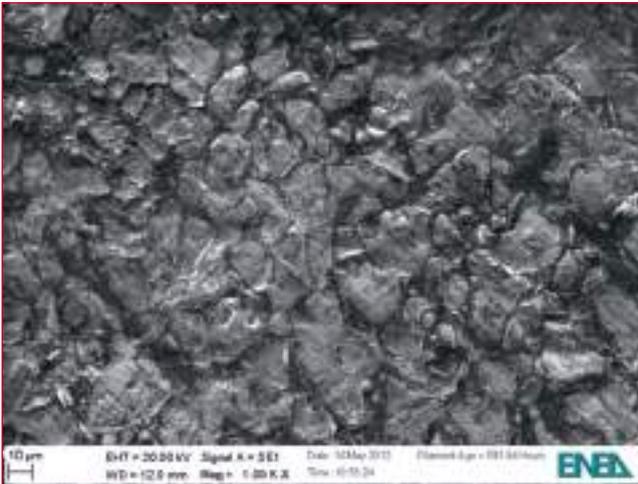


FIGURE 1 Surface of L119(20-60) Pd₉₀Rh₁₀

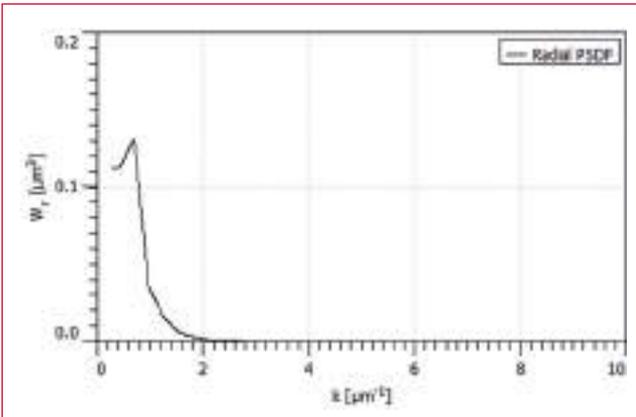


FIGURE 2 Power spectral density of L119(20-60)

s. After $\sim 5.80E+5$ s it was decided to perform a Galvanostatic Electrochemical Impedance Spectroscopy (GEIS) measurement by using the Biologic VP 200 Galvanostat-Potentiostat electrochemical spectrometer that was powering and controlling the experiment. This operation was performed in order to extract in situ new information on the status of the electrochemical interface in terms of an equivalent circuit.

The GEIS measurement was carried out within the frequency range 200 kHz-20 Hz and the Nyquist plot is shown in Figure 5a, with frequency decreasing from left to right in the plot. Figure 5a shows the equivalent

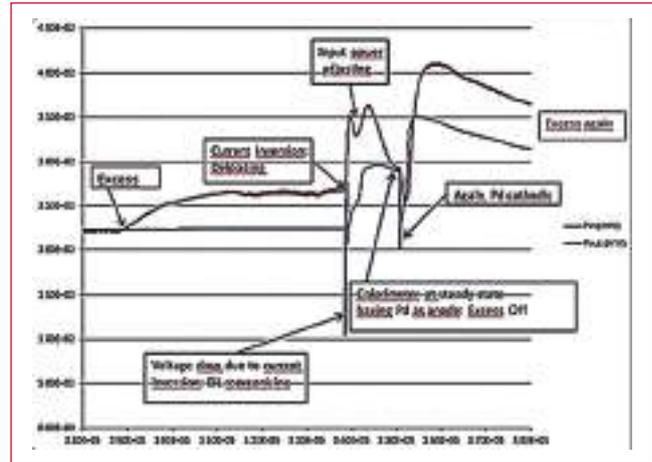


FIGURE 3 Excess power occurs ($\sim 2.90E+5$ - $3.55E+5$ s) and is switched off by current inversion. Restoring the original cathodic polarization restarts the excess power

circuit during the excess event and clearly a resonating component is contained. The applied DC current during the measurement was 90 mA, with a 7 mA sine probe amplitude.

Then the current was reduced to 30 mA DC and a time longer than the thermal transient of the calorimetric equipment was allowed to elapse. As can be seen from Figure 4, the excess power disappeared, then a new impedance analysis was performed and 25 Nyquist plots were acquired within the frequency range 400 kHz-10 Hz. Most of the plots were unstable yielding very scattered points as during the excess event. In some cases, as for instance in Figure 5a, it was possible to extract a clear signal.

Figures 5b and 5c show that the interphase structure was maintained also when the current was reduced to 30 mA (3 mA sine wave probe) although the excess power switched off. The resonating RLC structure disappeared from the impedance spectrum (always performed at 30 mA and by applying 3 mA sine wave probe) as soon as the input power was set to null for a few seconds before performing the GEIS again (see Figure 6).

The surprising result, even if preliminary, is that the excess power is characterized by a specific electrochemical structure of the interface (equivalent circuit) that may survive also after switching off the effect by redu-

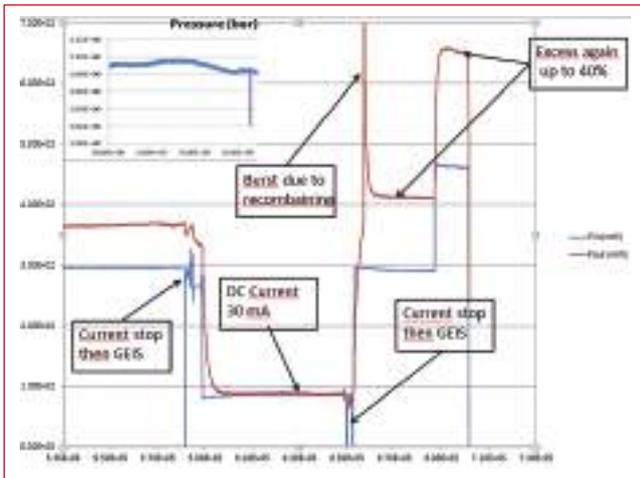


FIGURE 4 Excess power for the same run as in Fig. 3 at longer time

cing the current, but such a structure is destroyed if the system is more strongly perturbed by reducing the current to zero.

The inductive behavior in Figure 6 (negative imaginary component) at high frequencies is due to the wiring and connection of the cell and perfectly reproduces the tests performed with dummy circuits.

These preliminary results demonstrate that the electrochemical interface substantially changes during the production of excess power, and that the presence of LRC components suggests a resonant mechanism at the interface.

Figure 7, as a reference, shows a GEIS at two different current levels, performed on an inactive Pd cathode. Further increasing the current produced greater excess power up to approximately 40% of the input.

The cell was switched off during the excess in order to physically investigate the status of the sample surface during an excess power event. Figure 8a shows a SEM image of the electrode L119(20-60) surface as it was during the excess. The electrode was removed from the cell during the excess without switching off the cathodic polarization. We observed a significant changing of the surface morphology given by dendrites deposition. Figure 8b shows the PSD. The most significant peaks are in the region of wave number (k) up to about $5 \mu\text{m}^{-1}$ [3-5]; however surface study performed by nanoscope on

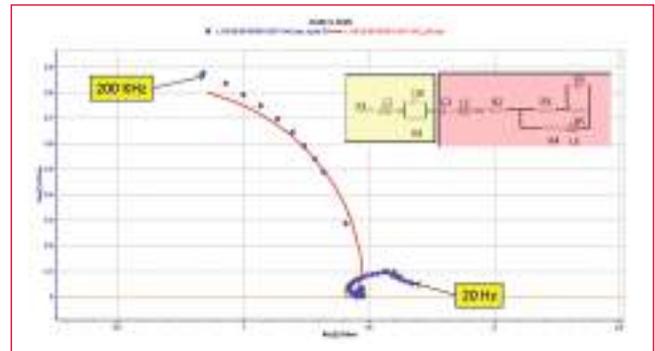


FIGURE 5A In situ Galvanostatic Electrochemical Impedance Spectroscopy on Sample L119(20-60). Excess-on. $\omega_R = 200 \text{ kHz}$

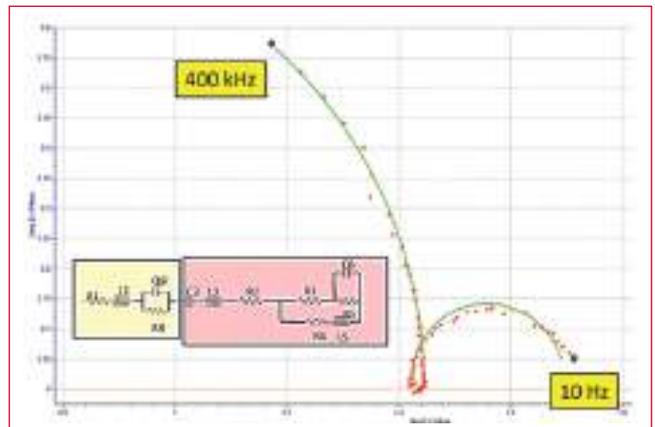


FIGURE 5B In situ Electrochemical Impedance Spectroscopy on Sample L119(20-60). Excess-off before perturbing

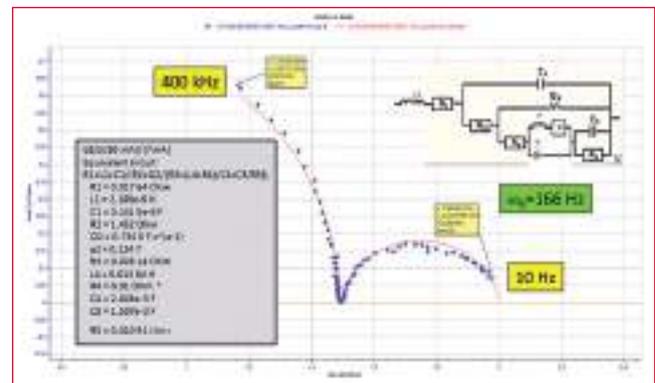


FIGURE 5C In situ Galvanostatic Electrochemical Impedance Spectroscopy on Sample L119(20-60). Excess-off before perturbing

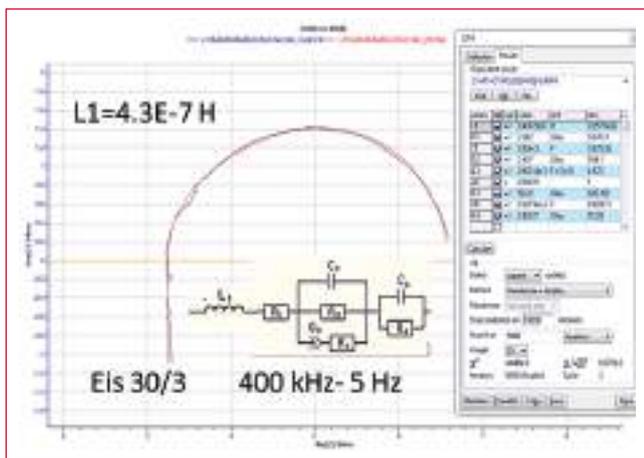


FIGURE 6 GEIS, 30mA/3mA 400 kHz-5Hz: Excess-Off

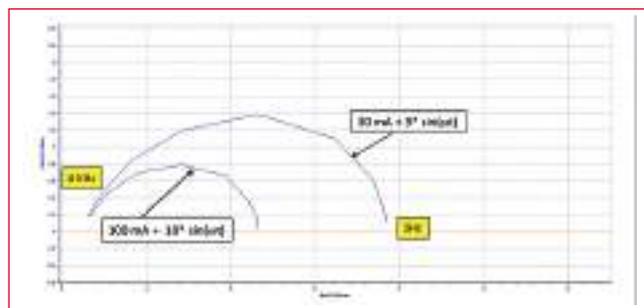


FIGURE 7 GEIS performed on inactive Pd electrode at two different current levels

similar samples revealed peaks in the PSD up to about $0.1 \mu\text{m}^{-1}$. EDX (Energy-Dispersive X-ray) revealed that during the excess Fe, Cu and Pt were on the electrode surface.

Figure 9 shows a TEM image of the nanoporous nature of the “rice” structures created on sample L119(20-60). Two additional samples from the same PdRh lot were investigated and were found to be totally inactive regarding the appearance of excess power. No evidence of specific surface contaminants and specific structures was observed on these two samples.

It is noteworthy to analyze the evolution of current and voltage, in galvanostatic mode, during the excess power production. A small oscillation of both current and potential was observed during the excess.

Figure 10 shows the sine wave behavior of current and

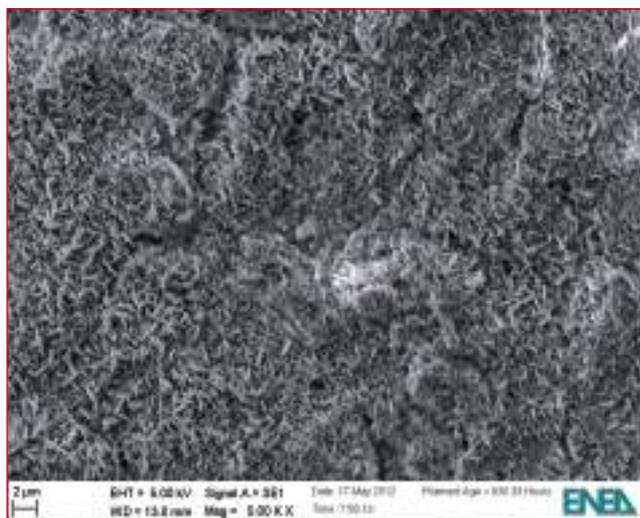


FIGURE 8A SEM image of the electrode surface of L119(20-60) as it was during production of excess power

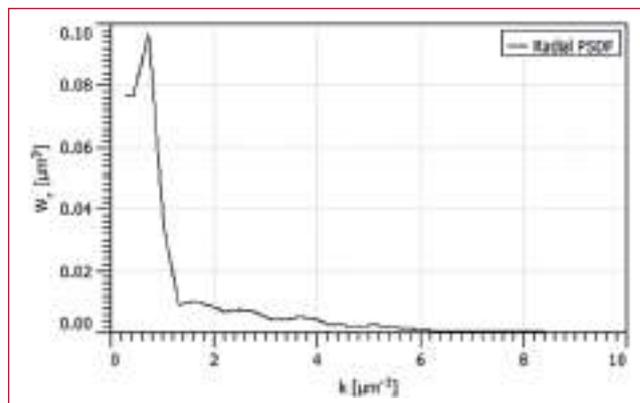


FIGURE 8B PSD of the surface shown in Figure 8a

overtoltage, reflecting clear electrochemical instability. Such a scenario is pointing towards morphology changing of the surface and pattern formation during the electrolysis [11].

We may also observe an additional signal at a higher frequency nested on the carrier wave. The carrier wave frequency is in the order of mHz. The existence of a not well resolved signal nested on the carrier wave is indicative of the existence of higher frequency mechanisms behind or beyond the observed behavior. For such a reason the high frequency region above 1 GHz needs to

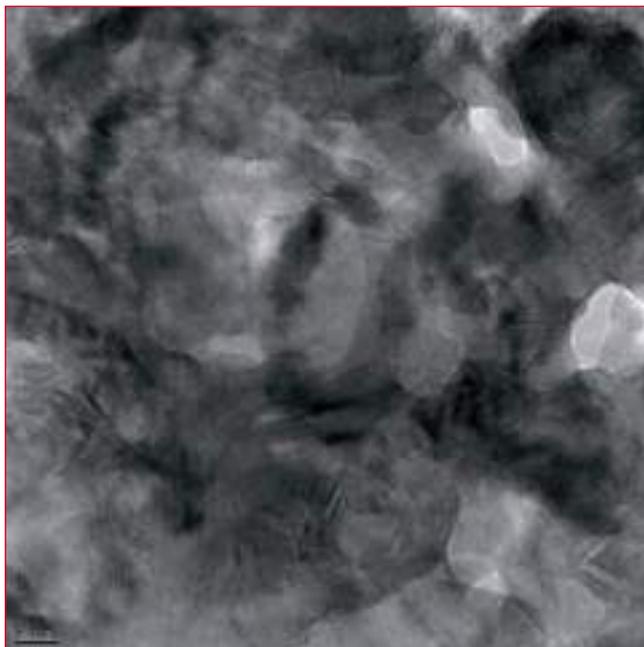


FIGURE 9 Nanoporous detail of “rice” structures observed on sample L119(20-60) as was during the excess power event (analysis performed by RE Research)

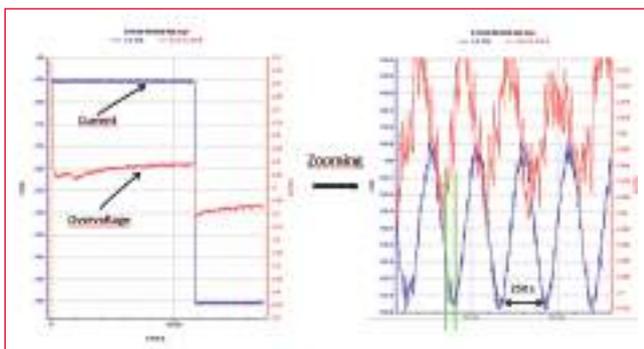


FIGURE 10 Current and overvoltage evolution during 40% excess power

be investigated.

Electrochemical literature [12] describes high characteristic frequency conditions for partially blocked porous electrodes, however there are several mechanisms, not necessarily purely electrochemical, that could produce high frequency signals at electrode interfaces. Nevertheless, although high frequency systems are assumed

to exist in electrochemical systems, the literature explicitly mentions that proper instruments to study such specific electrochemical phenomena have not been conceived and realized yet. In the following we will present an original approach to such a very challenging frontier research.

Radio Frequency signal emission during excess power production close to 100 GHz

As described above, not only preliminary theoretical considerations but also some experimental evidences [8,13] suggested to seek for high frequency RF signals during excess power production into electrochemical cell. Very high frequency signals measurement, from tens of GHz up to a fraction of THz, into an electrochemical device, is not a simple matter. A proper measurement chain was conceived in ENEA in order to perform such a very challenging task by using a spectrum analyzer (20 Hz-3.6 GHz), manufactured by National Instruments. Besides providing its support to develop the relevant control software, this company also delivered the training on RF measurements.

In order to test the system, the RF spectrometer was connected to the reference electrode by means of a coaxial SMA type cable and the cell was powered by using a Biologic electrochemical spectrometer model SP240. A sine signal was applied from 20 kHz up to 2 MHz and was perfectly detected by the RF spectrometer connected to the reference electrode. Such a test confirmed the possibility to study the interface potential with this measurement chain without any significant disturbance from the electrochemical environment. One of the critical aspects in studying high frequencies is represented by the practical impossibility of having a high frequency signal, in the order of a fraction of THz, moving from the inside of an electrochemical apparatus to the measurement device, i.e. the spectrum analyzer. For such a reason a miniaturized frequency down converter (DWC) was designed and realized by Anonymous Industry (AI). Such a small device (10mm x 10mm x 5mm ca.) can be introduced inside the electrochemical cell between one anode and the cathode. The DWC was conceived to have an internal clock at about 80 GHz. The device extracts the frequency difference between the input signal and

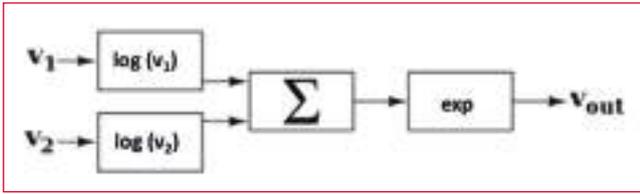


FIGURE 11 Schematic Block diagram of the Down converter: V1 is the RF signal, V2 is the internal signal at about 80 GHz; the exponential of the sum of the two signal logarithms gives a signal containing the frequency differences of the two inputs

its internal clock, and sends such a signal difference to the spectrum analyzer. Then, for instance, if there is an 83 GHz signal produced at the electrode the DWC sends the spectrometer an $83-80 = 3$ GHz signal.

Obviously the spectrometer reads contemporaneously signals in the range 20 Hz-3.6 GHz and signals approximately in the range 80-83.6 GHz (76.4-80 GHz), however the two regions can be identified since if the DWC is not powered it may “read” only the signals in the basis band, i.e. 20 Hz-3.6 GHz. The difference between the two spectra (powered and non-powered) given by the DWC allows to identify the signal around 80 GHz.

Figure 11 shows the schematic block diagram of the down converter: V1 is the RF signal, V2 is the internal signal at about 80 GHz; the exponential of the sum of the two signal logarithms gives a signal containing the frequency differences of the two inputs.

Figure 12 shows the block diagram of the experimental set-up. The electrochemical cell is a closed cell with a catalyst inside of it that recombines the oxygen and deuterium produced by the electrolysis. The pressure inside the cell is monitored by a liquid column pressure gauge. The electrodic system is the typical ENEA design [3-5], composed by a palladium cathode between two platinum or platinated stainless steel anodes. The cell works within an isoperibolic calorimeter equipped with a DAC and a power supply (galvanostat), both designed and realized by (AI).

Two coils, producing both a short period magnetic pulse (in the order of a Tesla) and an acoustic shock wave (due to the magnetic pulse), are outside the cell. This device, too, was conceived and produced by (AI).

During the experimental campaigns described below,

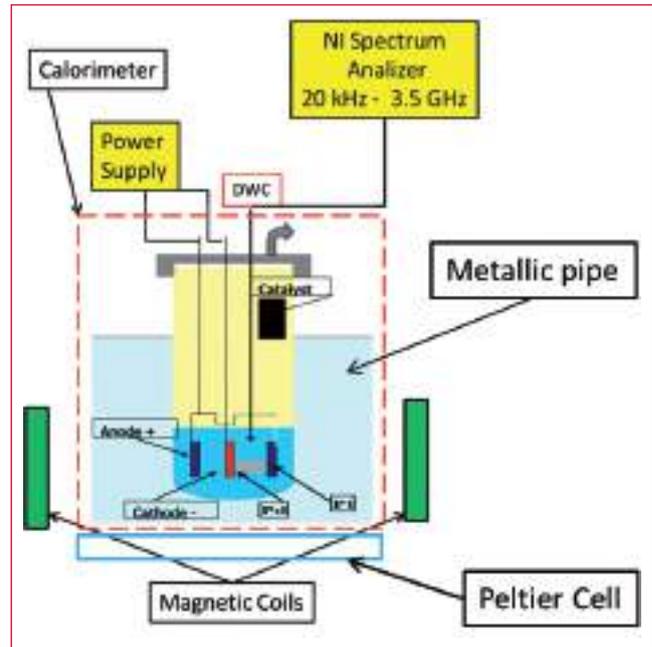


FIGURE 12 Block diagram of the experimental set-up

the thermal behavior of the system during the electrochemical loading and the magneto-acoustic triggering was simply followed by only measuring the cell temperature. The DWC is between one anode and the cathode and is connected with the spectrum analyzer by means of a SMA coaxial cable. Several palladium electrodes have been prepared in ENEA in order to perform the experiment. All the electrodes have been produced by using the ENEA process to guarantee a very high solubility of the hydrogen isotopes; some electrodes have been obtained by properly doping the palladium with platinum and other elements in order to enhance the probability to have the occurrence of the effect. All samples have undergone chemical etching in order to obtain the surface morphology considered as a necessary condition to observe the phenomenon [3-5].

First experimental campaign

The first experiment was performed by using sample L122(120-160), which underwent electrochemical loading for about 12 hr at 20 mA. Then the cell was moved

into the calorimeter equipped with the pulsed magnetic field and the current was increased at 24 mA. Seven cycles of pulsed magnetic field (40 pulses each) were applied; the time elapsed during a magnetic stimulus cycle was about 3 minutes. Yet, during this experimental campaign and also during the second (see next section) the calorimeter was not operated and the thermal behavior of the system was monitored just reading the electrolyte temperature on the wall of the cell.

The spectrum resulting from data acquisition at the beginning of the experiment was perfectly reproducing the background (see Figure 13), and the temperature on the external side of the cell wall was almost constant at about 31 °C. During cycle No. 7 of the magnetic stimulus, a clear RF signal was revealed by the spectrometer and the electrolyte temperature started to rise of several °C in about 20 min.; the spectrum is shown in Figure 14 and contains the signal into the basis band up to 1 GHz and the signal around 79-81 GHz. We may observe that the signal level reached values around -40 dBm well above the background.

The electrolyte temperature increase is ascribed to an anomalous excess power production significantly larger than the input power. During the effect an external multimeter also measured the voltage of the cell and the value was the same given by the data acquisition system. The magnetic field trigger device was switched off and disconnected, and so was the peltier cell of the calorimeter; nonetheless the excess survived until the power supply of the electrochemical cell was switched off and the cell was disconnected. In conclusion a thermal anomaly, along with a clear increase in the electrochemical cell temperature, typical of an excess power production, was observed in coincidence with the RF signal emission. Figures 15 and 16 are the screen copy of the RF spectrometer before and during the excess power, obtained by sample L122(120-160). The same electrode was operated again on the following day, before restarting the cell was cleaned and the electrolyte was replaced with a new one. The loading was carried out at 53 mA. With such a current level 6 cycles of magnetic pulses were applied, then the current was reduced to 24 mA and during the second cycle of magnetic pulses, at this current level, both excess power and RF signal were observed again. The RF spectrum is shown in Figure 17, the electrolyte

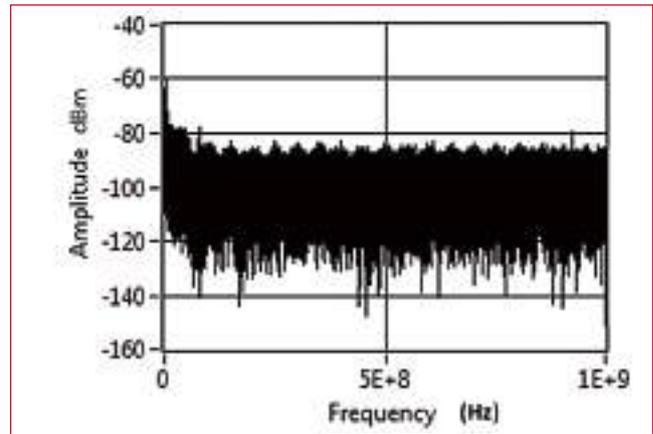


FIGURE 13 Background spectrum up to 1 GHz of sample L122(120-160) before cycle No.7 (10 points average)

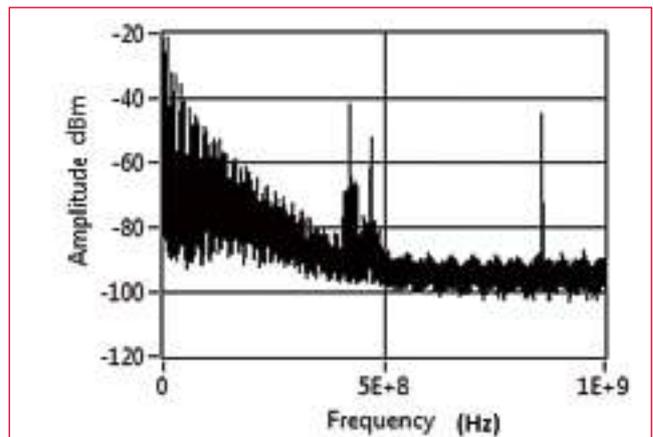


FIGURE 14 RF Spectrum up to 1 GHz of sample L122(120-160) during heat excess (10 points average)



FIGURE 15 Image of the RF spectrometer screen before the excess power event (sample L122(120-160))



FIGURE 16 Image of the RF spectrometer screen during the excess power. Sample L122(120-160)

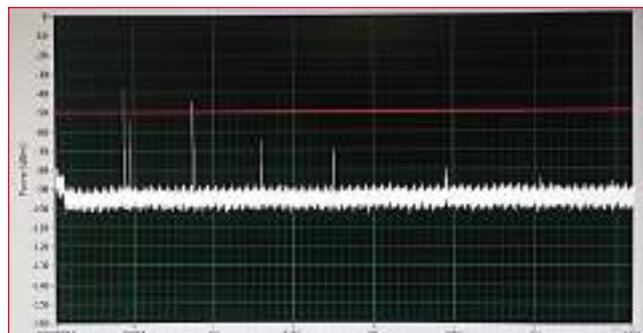


FIGURE 18 L122(308-366) spectrum observed with the down converter powered including both signals 10 MHz-3.6 GHz and 76.4-83.6 GHz

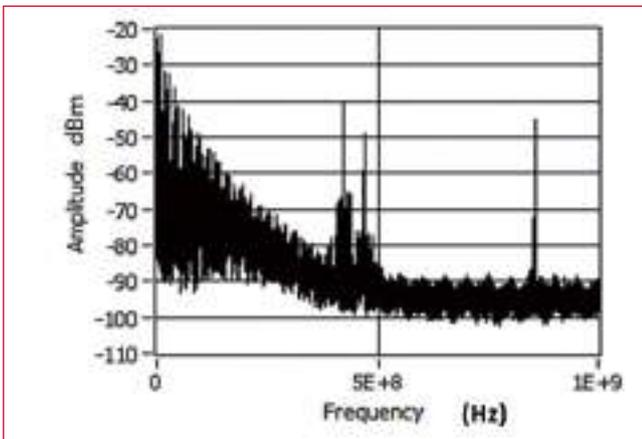


FIGURE 17 RF spectrum up to 1 GHz observed during the second run of sample L122(120-160) (10 points average)

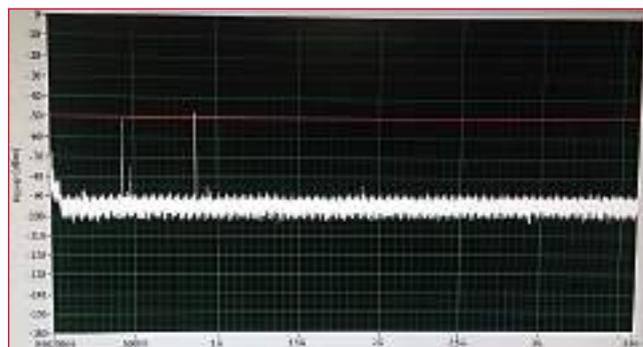


FIGURE 19 L122(308-366) spectrum observed with the down converter not powered, it includes the basis band signal only

temperature increase was the same as the one observed in the previous run.

Second experimental campaign

A second experimental campaign was carried out three weeks later. Another electrode L122(308-366), belonging to the L122 lot, was tested. The current was fixed at 53 mA and during the magnetic pulses cycle No. 4 RF emission was observed but without any evidence of cell temperature increase. Figure 18 shows the spectrum observed with the down converter powered: we observe at least 6 peaks including the basis band. To extract the signal into the basis band the powering of the down

converter was switched off and the spectrum modifies as shown in Figure 19. The spectrum in the range 76.4-83.6 GHz may be obtained by means of the difference of the two spectra.

Also sample L122(160-200), which gave a clear temperature increase and RF signal emission during the first experimental campaign was experienced again. Platinum anodes have been used for a new run and the current was fixed at 53 mA. After 8 cycles of magnetic pulses at 53 mA and 8 at 24 mA neither excess power nor RF signals were observed. Then the current was increased up to 107 mA and maintained at such value for a whole night in order to improve (presumably) the loading. On the following day, 5 cycles were performed at 97 mA without any effect, then the current was reduced to 53 mA and after 5 cycles at this current level both

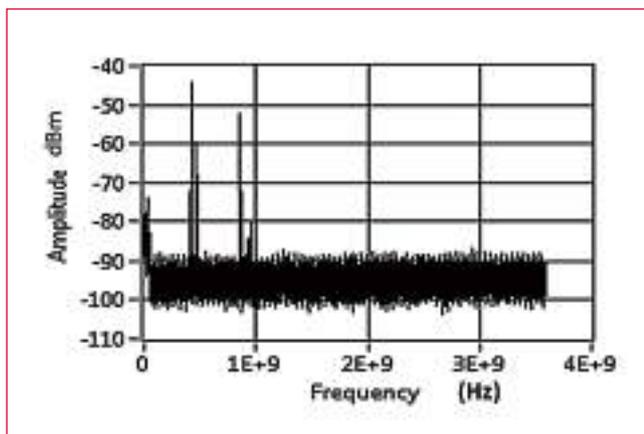


FIGURE 20 RF spectrum given by sample L122(160-200) during excess with non-powered down converter (basis band)

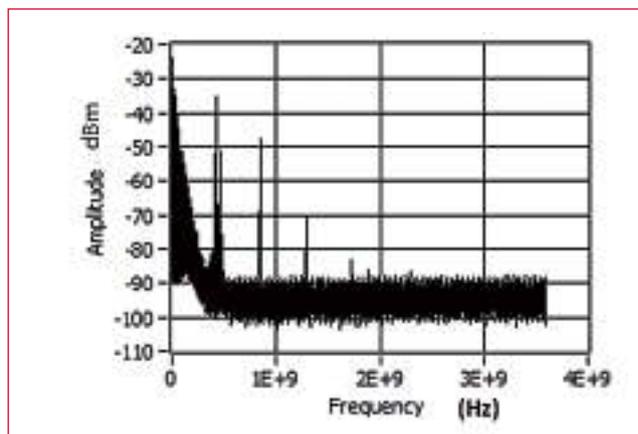


FIGURE 21 RF spectrum given by sample L122(160-200) during excess with powered down converter (including basis band and 76.4-83.6 GHz range)

Electrode	Lot	Electrolyte (0,1M Li)	Current mA	Notes	RF	Excess
Steel	NA	H ₂ O	53	NA	No	No
Steel	NA	D ₂ O	53	NA	No	No
L124(10-50)	Pd90/Rh10 (Al)	H ₂ O			No	No
L127(20-130)	H.M. + Pt	H ₂ O			No	No
L128(105-145)	H.M. + Pt	D ₂ O			No	No
L128(145-185)	H.M. + Pt	H ₂ O			No	No
L58(165-200)	J. M. MM29560	H ₂ O			No	No
L93(110-150)	A. A. 307622	H ₂ O			No	No
L95(50-90)	A. A. 307622	D ₂ O			No	No
L121(90-130)	Pd90/Rh10	D ₂ O			No	No
L125(170-206)	H.M. 2108539 + Pt	D ₂ O			No	No
L122(120-160)	Pd+Pt*	D ₂ O	24		Yes	Yes
L122(120-160)	Pd+Pt*	D ₂ O new	53		Yes	Yes
L122(160-200)	Pd+Pt*	D ₂ O	53		Yes	Yes
L122(160-200)	Pd+Pt*	D ₂ O	53	Charged at 107 mA	Yes	Yes
L122(236-272)	Pd+Pt*	D ₂ O	53		No	No
L122(308-366)	Pd+Pt*	D ₂ O	53		Yes	No
L137(100-140)	Pd+Pt*	D ₂ O	53		No	No
137(180-216)	Pd+Pt*	D ₂ O	107	Anode Pt	No	No
L137(60-100)	Pd+Pt*	D ₂ O	107	Anode Pt	Yes	No
L137(60-100)	Pd+Pt*	D ₂ O	107	Anode Pt	Yes	Yes

TABLE 1 Synoptic summary of the experimental results. If not specified in the table the anode was platinated stainless steel

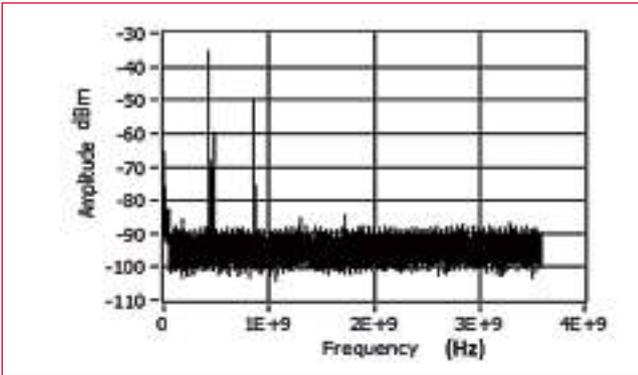


FIGURE 22 RF spectrum produced by sample L137(60-100) without any production of excess heat

electrolyte temperature increase and RF emission were observed. Also in this experiment, during the event, the down converter powering system was switched off in order to identify the basis band signal.

Figure 20 shows the RF spectrum given by sample L122(160-200) during excess by keeping the down converter non-powered (basis band). Instead, Figure 21 shows the RF spectrum given by sample L122(160-200) during excess and powering the down converter (including basis band and 76.4-83.6 GHz range). It must be highlighted that some handling of the experimental set-up, i.e. opening and closing the insulating bell, de-

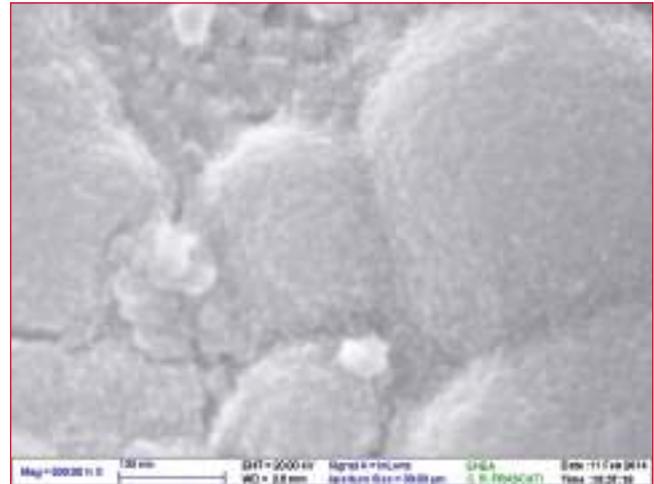


FIGURE 23B L122 (120-160) surface at FE Mag 500k

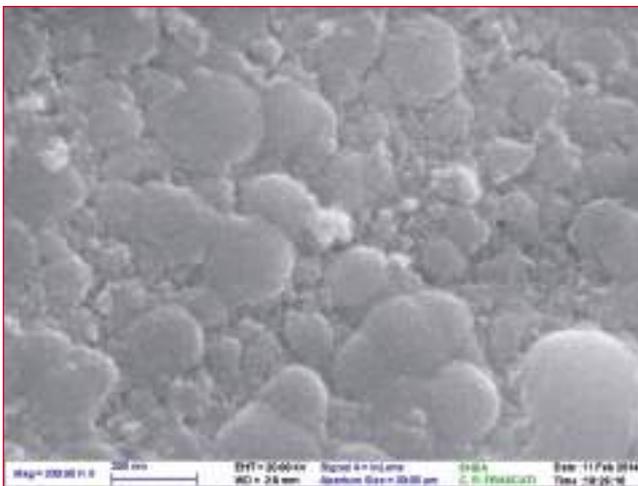


FIGURE 23A L122 (120-160) surface at FE Mag 200k

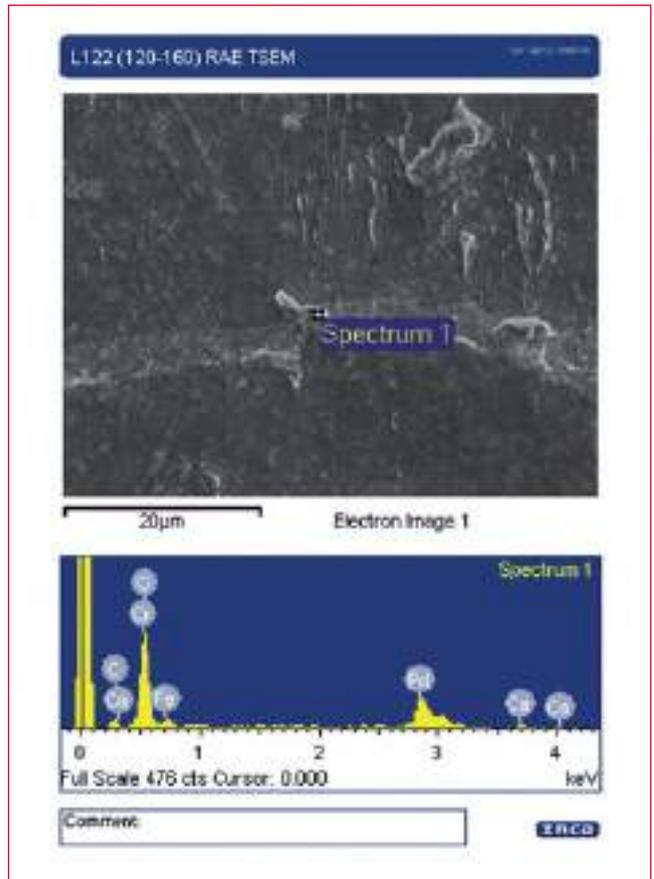


FIGURE 24A EDX point 1 L122(120-160)

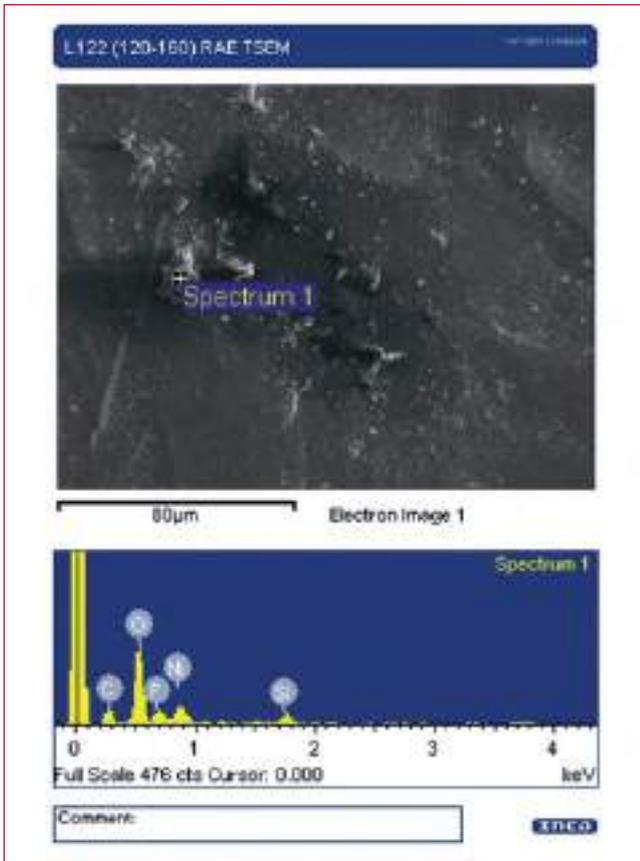


FIGURE 24B EDX point 2 L122(120-160)

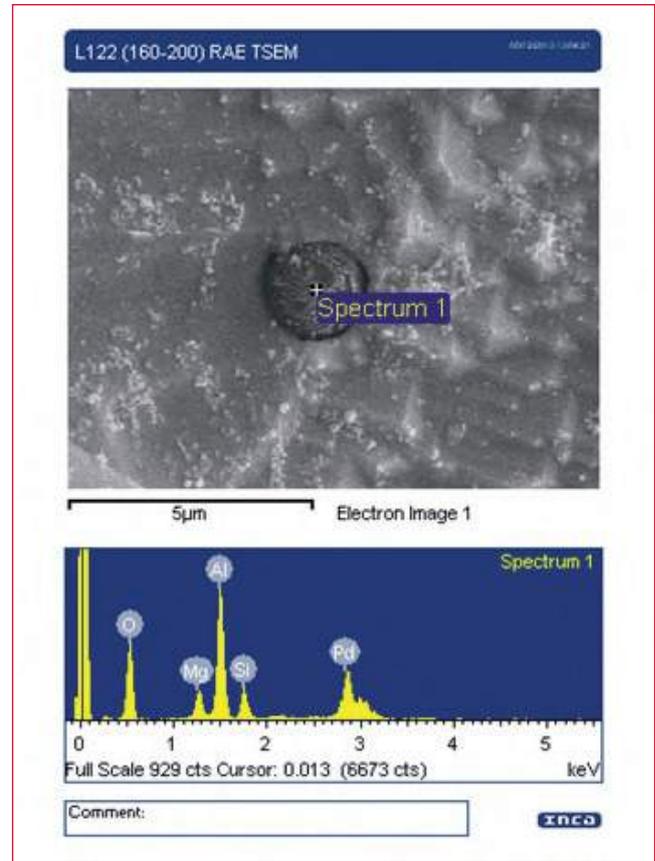


FIGURE 26 L122(160-200) EDX

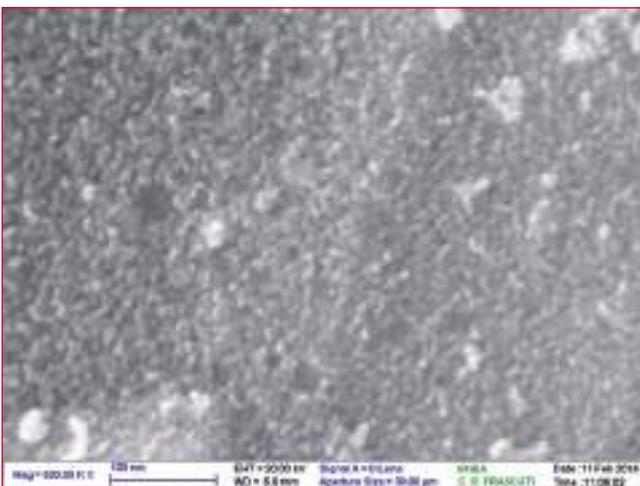


FIGURE 25 FE L122(160-200) Mag 500k

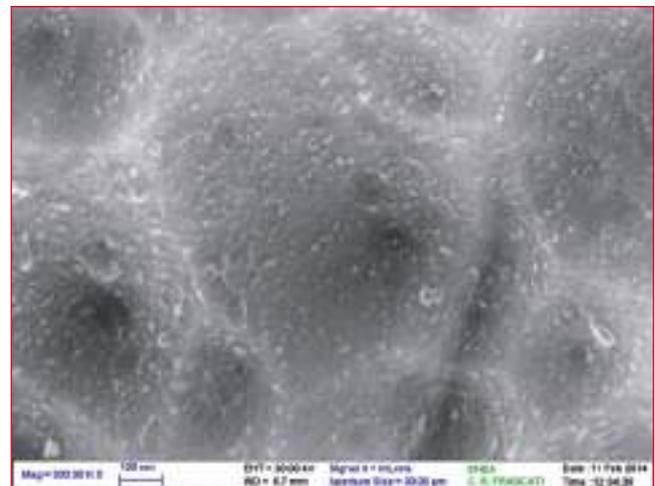


FIGURE 27 L122(308-366) 200k Mag

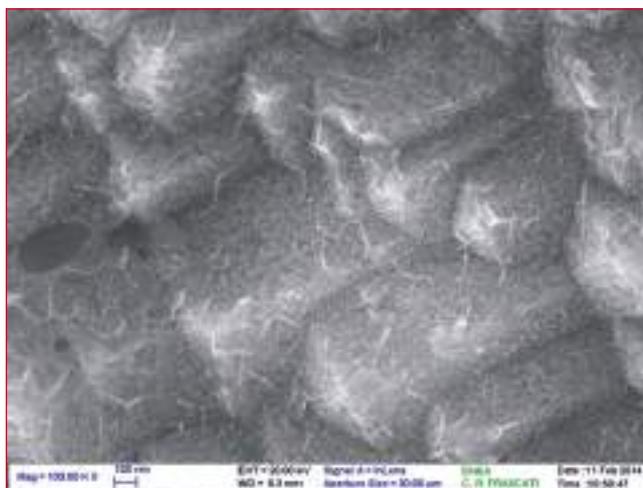


FIGURE 28A L137(60-100) 100k Mag (site 1)

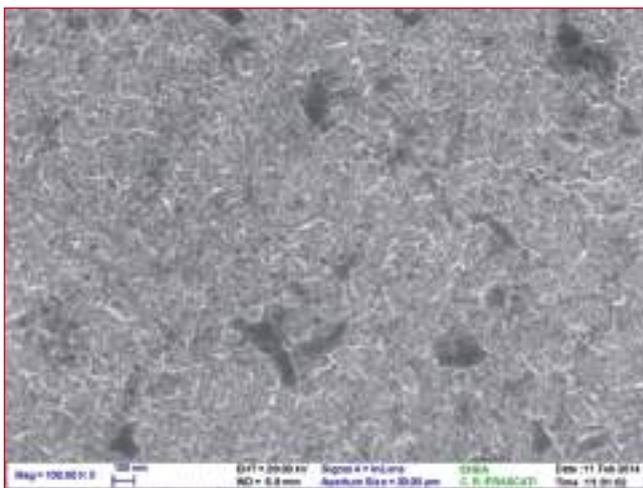


FIGURE 28B L137(60-100) 100k Mag (site 2)

stroyed both the heat excess and the RF signal, but a further cycle of pulses was able to reproduce both effects. The last active electrode tested was L137(60-100), also operated with platinum anodes. The behavior was similar to that of sample L122(308-366). The applied current was 107 mA and during magnetic pulses cycles a RF signal was observed without any thermal anomaly. It is noteworthy that only L122 and L137 lots have been able to give excess power and RF emission, both lots being prepared by Pt and other doping elements exactly in the

same amount. Also further loading sample L137(60-100) resulted in anomalous heat production and RF emission. Figure 22 shows the spectrum during RF emission from sample L137(60-100) without any temperature increase. From the previous data it is clear that RF emission is not a consequence of the excess heat production but, perhaps, the cause. Then, by comparing the spectra shown in Figures 18 and 19 we have been able to identify the basis band peaks and the peaks within ~77-83 GHz range that cannot be ascribed to the occurrence of the effect, due to the absence of anomalous power production. Sample L137(60-100) was left loading at about 100mA for a whole night and triggered again by magnetic pulses. Under such a stimulus it produced a very robust excess power of the same amplitude of samples L122(120-160) and L122(160-200). Table 1 shows a synoptic summary of the electrodes used for such a study.

Status of the electrodes

After the experiments some samples (active and non-active) have undergone microscope analysis. In particular SEM, EDX and Field Emission have been used to characterize the status of the surface.

Figures 23a and 23b show the surface of sample L122 (120-160) after the experiment for two different magnification values (200 and 500, respectively). We may observe coverage of small spheres having a size ranging from 200 nm down to less than 100 nm. In Fig 23b we may observe a porous structure at small scale. A similar structure was observed at small scale also on sample L119(20-60) (see Figure 9).

EDX analysis (Figures 24a and 24b) reveals a significant amount of Si, Cr, Al and Fe (same as L119(20-60)).

The surface status of sample L122(160-200) is shown in Figure 25. Spheres having a size less than 100 nm can be identified as well as coverage of nano-deposit.

EDX analysis of sample L122(160-200) is shown in Figure 26 and reveals a spectrum of contaminants.

Figure 27 shows that also sample L122(308-366) has a clear nano-deposit on the surface nested on larger-sized structures that are always in the order of some hundreds of nm.

Sample L137(60-100) (see Figures 28a and 28b) has surface features very close to the ones observed on sample

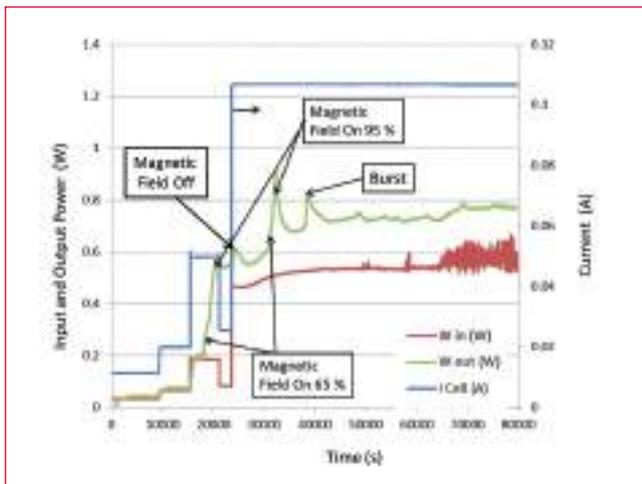


FIGURE 29 Evolution of the input and output power during the experiment performed by using sample L137 (300-340) was belonging to the same active lots used during the first and the second experimental campaigns

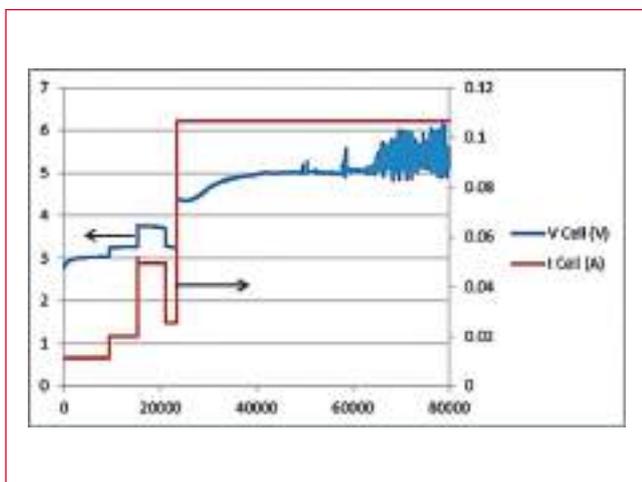


FIGURE 30 Cell voltage (blue) and cell current (red) during experiment L137 (300-340)

L122(160-200), consisting of nano-deposits.

Replication with ENEA hardware and calorimetric measurements

The experiment with a pulsed magnetic trigger, described above, was replicated by using a proper magnetic

hardware developed in ENEA. During the experiment a calorimetric measurement was carried out, too.

Two coils have been designed to give short period magnetic pulses in the order of one Tesla. The input power is calculated as the scalar product between the current and the voltage (closed cell). The output power is estimated by reading the voltage signal across a Peltier cell placed between the bottom of a metallic pipe containing the cell and a heat sink. Since the Peltier voltage signal is proportional to the thermal load into the cell, a calibration allows to translate the voltage in terms of output power. A Lab View Program was developed both to control the power supply (the electronic board) and to perform the data acquisition by reading the data directly from the board. The software was also able to perform a calibration correction during the run. The Peltier isoperibolic calorimetric apparatus, described above, was calibrated with light water electrolyte (LiOH) with and without applying the magnetic field, in order to estimate the effect on the calorimeter produced by the heating of the coils (160 mW and 450 mW at 65% and 95% of the maximum intensity of the magnetic field, respectively). The palladium cathode was sample L137 (300-340), belonging to the same active lots used during the first and the second experimental campaigns. Such a sample was etched exactly as the active samples previously used. We may follow the evolution of the experiment with the help of Figure 29. Initially, the current was first fixed at 16 mA and then at 24 mA, and no excess power was observed. Then the current in the cell was increased up to about 50 mA and the magnetic field was applied at 65% of the maximum intensity (close to 1 Tesla), at about 18000 sec elapsed time. After some hundreds of pulses the magnetic field was increased up to 95% of the maximum intensity, approximately at 20000 sec elapsed time. The expected increase in the output power due to the coils heating is the same observed and quoted during the calibration. During the 95% magnetic pulse the current was reduced down to 24 mA for a short time, then the magnetic trigger was switched off and the current increased up to 107 mA (the same loading current giving excess with sample L137(60-100)), approximately 24000 sec elapsed time. We may observe a decrease in the output power, due to the switching off of the magnetic trigger at around 25000 sec elapsed time, and then an increase in both in-

put and output power due to a spontaneous increase in the cell voltage (see Figure 30). In any case it should be observed that, after applying the magnetic field the first time, an increase in the cell voltage occurred and a small excess power came up (100 mW). The pulsed magnetic field was applied again first at 65% and then at 95%. After applying the magnetic field the second time, the excess event increased up to about 200 mW and a burst occurred, giving an excess power up to about 50%. We may observe that after the burst, the excess power survives, the cell voltage becomes very noisy and also the current shows a ripple (out of the scale of Figure 30). This effect is often observed during excess power production. A similar experiment was carried out on a sample belonging to the same lot but prepared with a different chemical etching, and no excess of power was observed.

Conclusions

The experimental data show that excess power is characterized by a dramatic changing of the electrochemical interface, leading to a resonant phenomenon occurring into identified resonating structures, which highlights the importance of investigating surface/interface equivalent electric circuits. In addition it turns out that nanoporous structures have been identified on the active samples. An RF signal emission has been observed during the excess

power production but such a signal has been obtained also when the excess power was absent, showing that RF emission is not the effect of the excess but perhaps the cause. Very often electrochemical instability is observed in coincidence with the onset of the effect. Even if the role of the high frequency source (DWC) is still under study, the magnetic (acoustic) trigger – that seems to act on the identified resonating structure – is very effective for obtaining the onset of the effect since during the three experimental campaigns, including the replication with ENEA hardware, it has given a significant reproducibility when active lots (i.e. properly doped Pd samples) have been used. This was obtained by doping a rough palladium originally inactive. Such a result that in any case should be considered as a first step is pointing in the direction of the complete control of the effect and its definition. ●

Notes

The hardware provided by A.I. was tested by the manufacturer and operated as it was.

Acknowledgements

The authors wish to acknowledge the very important support received by Dr. Stefano Concezzi, Dr. Augusto Mandelli, Dr. Daniele Persia and Dr. Marco Castellano from National Instruments, and also by Dr. P.J. King and Dr. Mason Guffey from RE Research.

references

- [1] M. McKubre et al., "Excess Power Observations in Electrochemical Studies of the D/Pd System; Influence of Loading", Proc. Third Intern. Conference on Cold Fusion (ICCF3), Nagoya, Japan, October 21-25, 1992, pp. 5-19.
- [2] G.K. Hubler, "Anomalous Effects in Hydrogen-Charged Pd – A Review", Surf. Coatings Tech., 201 (2007) 8568.
- [3] V. Violante et al., Material Science on Pd-D System to Study the Occurrence of Excess of Power, Proc. ICCF-14, Washington DC 10-15/8/2008, Vol 2, pp. (429-436).
- [4] V. Violante et al., Evolution and progress in material science for studying the Fleischmann and Pons effect (FPE), Proc. ICCF-15 Oct 5-9 2009, Rome, Italy, pp. 1.
- [5] V. Violante et al. The study of the Fleischmann and Pons effect through the materials science development. Proceedings of the XVI International Conference on Condensed Matter Nuclear Science. Chennai, India, Feb 6-11 2011, pp. 313.
- [6] D.L. Knies, V. Violante, K.S. Grabowski, J.Z. Hu, D.D. Dominguez, J.H. He S.B. Qadri and G.K. Hubler, "In situ Energy-Dispersive X-ray diffraction study of thin Pd foil at D/Pd and H/Pd ~1", Proc. ICCF15, Rome, Italy, Oct., 2009.
- [7] D. L. Knies, V. Violante, K. S. Grabowski, J. Z. Hu, D. D. Dominguez et Al., In-situ synchrotron energy-dispersive x-ray diffraction study of thin Pd foils with Pd:D and Pd:H concentrations up to 1:1, J. Appl. Phys., 112, 083510 (2012); doi: 10.1063/1.4759166.
- [8] V. Violante, E. Castagna, S. Lecci, F. Sarto, M. Sansovini, T. D. Makris, A. Torre, D. Knies, D. Kidwell, K. Grabowski, D. Dominguez, G. Hubler, R. Duncan, A. El Boher, O. Aziz, M. McKubre, A. La Gatta, Excess of Power During Electrochemical Loading: Materials, Electrochemical Conditions and Techniques, Proceedings ICCF18 Int. Conference on Condensed Matter Nuclear Science, 20-25 Jul 2013, Columbia (MU) USA. In press.
- [9] D.D. Dominguez et al., Are Oxides Interfaces Necessary in Fleischmann and Pons Type Experiments?, Proceedings of the XVI International Conference on Condensed Matter Nuclear Science. Chennai, India, Feb 6-11 2011, pp. 53.
- [10] D. Knies et al, Differential Thermal Analysis Calorimeter at the Naval Research Laboratory, Proc. ICCF- 15 Oct 5-9 2009 Rome, Italy, pp. 11.
- [11] Kazuhiro Fukami et Al. , General Mechanism for the Synchronization of Electrochemical Oscillations and Self-Organized Dendrite Electrodeposition of Metals with Ordered 2D and 3D Microstructures, J. Phys. Chem. C, 2007, 111, 1150-1160.
- [12] M.E. Orazem, B. Tribollet, Electrochemical Impedance Spectroscopy, John Wiley and Sons, 2008, Hoboken (NJ), pp. 157.
- [13] D. Dominguez, D.A. Kidwell, G.K. Hubler, S.F. Cheng, M.A. Imam, K.S. Grabowski, D.L. Knies, L. De Chiaro, A.E. Moser, J.H. He, V. Violante, 17th Conference on Condensed Matter Nuclear Science, Daejeon, (Korea) 12-17 August 2012. <http://lenr-canr.org/acrobat/DominguezDanomalours.pdf>



Social Dependability: a proposed evolution for future Robotics

This paper deals with a possible scenario that could become common in a future robotics-assisted society. Robot applications are affected by dependability, reliability, safety concepts owing to the intelligence and the autonomous capability of advanced robots not only to carry out tasks without any man intervention, but also to establish whether a task must be carried out or not, depending on a high level evaluation of the environmental context. The interaction among different robots and among them and the human society is likely to increase in the future; transient Robot Societies, whose behavior cannot be foreseen with the tools we have today, are expected to generate and will pose management problems. This will demand the development of a methodology able to define the degree of dependability of a robot. The following discussion tries to address this problem by putting some ideas on the table for a possible technological, but also scientific challenge

DOI 10.12910/EAI2014-63

■ *Claudio Moriconi, Ramiro dell'Erba*

Introduction

Robot Dependability (RD) is generally accepted as an extension of the Dependability concept, widely used in many of the common devices of our automation society. Dependability has been defined as a methodology able to define both a confidence index between man and the machine and a set of tools able to increase this index during the machine design and within its lifetime. Born in the frame of computing science, the Dependability concept has been applied in many areas, ranging from airplanes to electronic devices. Car Dependability is perhaps one of the most diffused examples of the importance of the concept: with a total amount of about 50,000 deaths (Eurostat source) each year, only on the European roads, the need to cope with the dependability of a modern, high technology car becomes of utmost importance for a car manufacturer.

There are Companies (i.e., J.D. Powers) that are charged by car manufacturers to carry out yearly Dependability studies on existing models worldwide.

This need is mandatory not only to comply with the safety rules imposed by public administrations, but also to support the market position of manufacturers with a safety image that has to be also as much attractive as possible.

At present, dependability in the market robots has not the same relevance than in the car market, but in consideration of the increasing interaction between robot and human population's dependability is already playing a significant role.

For instance, this is happening in working environments, where the interaction of building, handling or servicing robots with workers that are not always enough prepared to safely manage these relatively complex production tools is turning into a working safety problem.

This means that robotics is increasingly becoming a horizontal technology, and its applications are embedded in a large number of common technologies. The car itself can be considered as a robot thanks to its many automatic functions.

■ *Claudio Moriconi, Ramiro dell'Erba*
 ENEA, Technical Unit for Advanced Technologies for Energy and Industry



At present, robots directly interacting with humans, such as the “robot companion” concept, are rather a laboratory experiment than a social phenomenon, but this could change all of a sudden if the robot technology for home and in general human-conceived environments will become more affordable and economic.

ENEA has recently started to study the application of a large number of cooperating robots, performing their tasks both inside and far from the human environments [1][2][3][4][5].

In particular we have addressed a class of tasks generally oriented to the surveillance of the coastal sea bottoms. The concept we are developing is based on the exploitation of underwater ships designed and composed by cheap and easily deployable vehicles endowed with the capability to communicate with a very high bandpass owing to a new concept we have introduced in our work (see the artist view in Figure 1). The general architecture implies coordination among many subsystems at a high complexity level and a considerable part of the development is expected to be devoted to the control of the multirobot system from the remote operator.

One of the elements arising from this preliminary work is the conceptual problem of how to cope with the control and the management of groups of autonomous or semiautonomous machines (we could call them non-human groups or, in the most wild dreams, “societies”)



FIGURE 1 Artist view of the coastal exploration Swarm

with respect to human individuals or groups. This is a new fundamental challenge.

The basic point that represents a qualitative difference between a “robotic society” and any other group of machines is the ability to define and perform actions independently from the direct control of a human and, moreover, the relative unpredictability of these actions also by the same performers in case of unforeseen interactions.

In the daily life, anyone can lose the control of a tool (or of a machine), causing damage and hence the need to manage the situation to recover the consequences. In case of interaction with non-intelligent machines, the reciprocal influence and the unwanted behaviours of many different devices may also cause more or less severe damage, but this increases if the interacting systems operate at global dimension where damage is probably to be more severe and with more serious consequences. In this regard, specific statistical methods like FMECA [6] have been developed to evaluate the real rate of failures / faults of complex systems.

In the case of robots, these “unwanted behaviours” become the “rule of the game”, that is autonomous robotic systems are always performing actions not completely controlled or foreseen by their human owners. In these situations, the human operator is completely off-guard with respect to unexpected events caused by unwanted interactions between different robots.

Our conclusion is that a new mathematical approach to the Dependability concepts should be developed to overcome these situations, and we suggest to call it “Social Dependability”.

Related works

The work that Jean-Claude Laprie has been carrying out since 1980 introducing the term of Dependability in Computer Science and the many important methods in the following years are of fundamental importance to this proposal [7][8]. Dependability applied to robotics is becoming a peculiar research field inside the active international Research Field and this has been pushed by several organizations (among these, CNRS-LAAS and IARP).

Important results were presented by TKK Automation

Technology Laboratory, Helsinki University, by Prof. Halme and his group, who have been working since 1993 on the specific theme of Robot Societies [9][10]. Some of the ideas of the current paper come, in fact, from the work of this group, especially focused on underwater group cooperation.

Recently, Ceng Xian-yi, Li Shu-qin and Xia De-shen of Nanjing University and of Jiangsu University performed interesting studies on self-organising models of robots, where many of the concepts here reported can be derived [11][12].

Also important contributions to this line could be derived by the work of Olson and Goodrich and by the analysis carried out by Crandall et al.[13][14]

Need for new definitions

The most widely accepted approach to Dependability [7] [8] involves the evaluation and the mutual relationship of six system attributes. Qualifying the level of dependability of a system demands to define some categories that contribute to its definition. They are: attributes, a way to assess the dependability of a system; threats, to understand what can obstacle the dependability of a system; and correct process, that means defining what can be done to prevent or remedy the problems. Each of these categories have some features. To give some examples for Attributes, they are: Reliability, Availability, Safety, Confidentiality, Integrity, Maintainability.

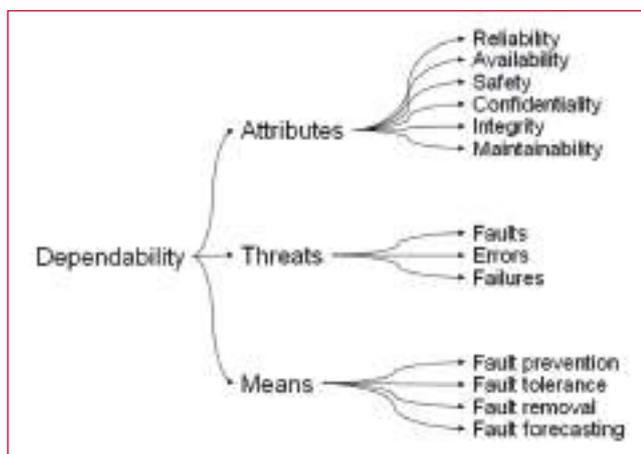


FIGURE 2 Dependability tree following Laprie et al.

Safety, Confidentiality, Integrity, Maintainability (see Figure 2). Each one of these variables (hereinafter referred to as “state variables”) can be represented by one or more values that can be generally considered as statistical variables.

Safety, for instance, can be defined under many different aspects depending on the consequences that we consider, and it is generally accepted as the inverse of the probability that a certain risk will take place.

Therefore the “safety” parameter depends on many elements beyond the specific considered risk and cannot be defined without including in the state variable the definition of the surrounding environment and its relevant typical characteristics. Some general ideas about the safety of a multirobot team could be found in [15]. In the considered literature, the terms Robot Group, Robot Swarm, Robot Team, and Robot Society are used with similar and often overlapped meanings. Generally speaking, researchers of the field use these terms to make reference to some organised group of robots endowed with common purpose, with more or less developed sensing capabilities and, possibly, communication systems. Therefore the first thing we will try to do is to define a tentative, very simple, taxonomy of robot organisation in order to have the possibility to apply more articulated concepts and methodologies.

Robot Group (RG)

In our selected literature there is no definition for Robot Group. This is quite obvious if we consider that a Robot Group has poor specific properties.

Our definition proposal is:

Robot Group: Non-cooperating system, intended like a casual, non-pre-planned, number of individual robotic units, having different own objectives to achieve. Each single robotic unit (or Team or Swarm) is supposed to have, anyway, behavioural rules aimed at avoiding damage or dead-lock situations in the interactions with external agents.

As an example, we can consider human people in a pub.

Robot Swarm (RSw)

Literature selected definition: “A set of dynamical mechanisms whereby structures appear at the global level of a system from interactions among its lower-

level components. The rules specifying the interactions among the system's constituent units are executed on the basis of purely local information, without reference to the global pattern, which is an emergent property of the system rather than a property imposed upon the system by an external ordering influence" [16].

Things are in this case reasonably intuitive and we just tried to give a short and manageable definition that can collect all of the basic properties already identified by Bonabeau and others.

Our definition proposal is:

Robot Swarm: Cooperating system of individual robots, endowed with single and social rules defining a common group behaviour, without an "a priori" defined Hierarchical or Networked structure.

As an example, we can consider from nature biology a bee swarm.

Robot Team (RT)

Literature selected definition:

"The Robot Team is an interim formed and tight relation set by individual robots. It can be regarded as an autonomous zone. The team leader who has the ability of organization is the centre of the organization. The team leader has the right to divide and allocate the tasks to the members of the team without negotiation. The team leader represents the united intention of the team. Only the team leader can communicate and cooperate with the other team. And the team leader is dynamically changeable." [12]

Our definition proposal is:

Robot Team: Cooperating system of individual robots endowed with a common purpose and with a defined Hierarchical or Networked structure of coordination & communication.

As an example, we can consider in human society a Team of construction workers.

Robot Society (RS)

Literature selected definitions:

"Robot society: the robot society is organized by all of the individual robots and robot groups that have connections, which is a large group with organization." [10] and also "Robot society is an organised society. There is a control centre of the society members called

society leader. Society leader can be the low level society or team's leader or an individual robot. The robot team can be regarded as the sub-organization of robot society"

From [12] *Our definition proposal is:*

"A Robot Society is an organised structure of individual robots with a defined structure of coordination & communication that can be lacking of common purposes in terms of jobs, short term actions or communication with human beings."

At this point we may complete the definition of RS with the concepts we have outlined in the introduction of this article concerning Dependability, and we can say that a Dependability Robot Society (DRS) is a RS having a behaviour inspired, among others, to some human "ethic-moral" behaviour rules, having the aim to "well" behave with respect to an external society or individuals. The concept of Robot Ethics has been discussed by other Authors and we do not wish to enter in it in this paper, which we want to be more focused on the mathematical aspects of the matter.

In our definition of RS and hence DRS, we stressed the possible lack of common purpose in the different elements of this society. The common purpose is a feature of almost all the natural societies, including the human one. The human society is a very complex society, which embeds many type of societies. In fact, as members of the human society we can observe that generally a society or any societal groups work better when a common aim is shared by the largest number of its members. The smaller and less defined is the common aim, the more a society has internal problems or even its same survival may be at risk.

RSws and RTs are also a Society, since they may work in many situations where space will be shared among humans and servicing robots. In the DRS, the robots form a Society shaped on the basis of some human-centred needs to achieve a dependable behaviour, also in case of different aims. In particular, the relatively narrow space creates the needs for coordination, communication and identification of the most suitable solution to simplify conflict resolutions.

Similarly to an RG, but contrary to the RT and RSws, an RS may lack a common purpose in its different robot members. However, albeit not always finalised



to a common purpose, an RS (or better, a DRS) having the aim of service towards another external society or individual, has a fundamental set of behaviour rules that may recall the human ethical rules.

Towards a social dependability

Let's consider now which is the cost of the applicability of the Dependability concept to a Robot Society.

In the simplest situations, when the final objective is to derive a final characterization of a device with respect to the operator, the quantification of the Dependability in its different attributes can be relatively easy to calculate and define.

On the other hand, when we move towards more complex systems, where the final value of each single state variable depends from the interactions among many subsystems or components, calculating the total Dependability can become a process quickly divergent in terms of complexity and costs.

It's important to point out that, in case of Groups, Swarms/ Teams or Societies of advanced and autonomous robots, an interaction among them could be considered under the Dependability aspect for the reasons presented in the Introduction, but the cost of this process, if carried out following the current methods, could be too high and the required time too long (almost impossible to derive in fact). Moreover, this approach could be conceived only in the case of multirobot systems (or swarms), designed for specific applications: those groups, in fact, could be considered as a single entity.

In the case of random "Robot Societies" sharing common work places, as in the former definition we gave, the calculation procedure to derive the group Dependability could not either be proposed since the composition of the group is not known a priori. Examples of random "robot societies" can be represented by different robots performing different domestic tasks, by service robots separately operating in common environments (like civil construction sites) and by other similar aggregations. The Society composition can be modified for the most different reasons, and new individuals can join in every moment to the "society" whereas others can leave, modifying both the interactions and their intensity. By the term "Intensity" here we mean the level of the action and

some additional characteristics, including the physical area in which the interaction itself can take place.

Very preliminary analyses of these phenomena led us to consider that the behaviour of the whole system could be modelled following the chaos mathematics, where the interaction types and relevant frequencies identify typical attractors inside the model itself.

Other approaches during our first discussions led to propose a modification to the Dependability definition, developing a new one in terms of rules that, starting from building up different classes of interactions (i.e., physical, logical, sensorial, etc.) leads to derive a procedure to combine the single Dependability features. Some comments are needed to clearly understand the meaning of Figures 3, 4 and 5. The classical architecture of Dependability [Figure 2] proposes the "attributes" in terms of probabilities, the "threats" in terms of events related to the "attributes" calculated probability, and the "means" in terms of methods suitable to modify those probabilities or to recover the unwanted event.

Social Dependability cannot be approached exactly with the same logical organisation since probabilities are not a fixed "attribute" of a device, but can be viewed more as continuous modifications of event probabilities depending on variables bounded to tasks, members and interactions among members, that can take place in a defined piece of space-time.

Either means partially change their meaning, adding to classical time-invariant means to prevent threats (we have not reported them into the figure for clarity reasons), further Real-Time measures, needed to cope with Social modifications.

This will be better explained in the following.

Accepting this assumption, for each class of the original definitions (attributes, etc...), we have characterised tasks, members and interactions with items that, following our first conclusions, can affect the probability of "Threats". In other words Reliability, Safety etc... became functions of t and of the identified parameter, and can be derived like in the following formulas in Figure 6.

Being:

Power = Sum of the power requested for a specific task (affecting the cost of threats consequences)

Speed = speed of the robot (generally a function of the task and of the single robot capabilities)

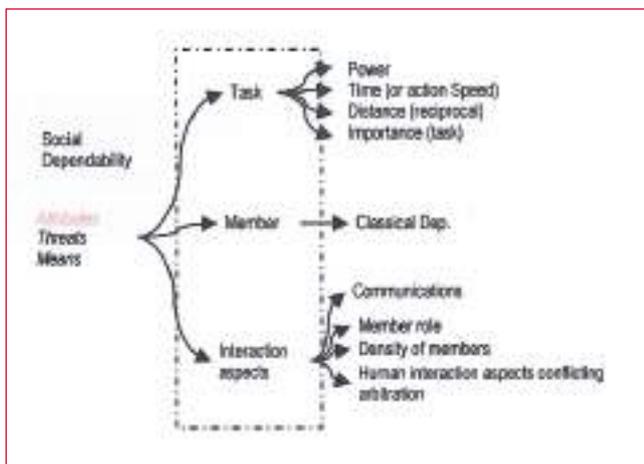


FIGURE 3

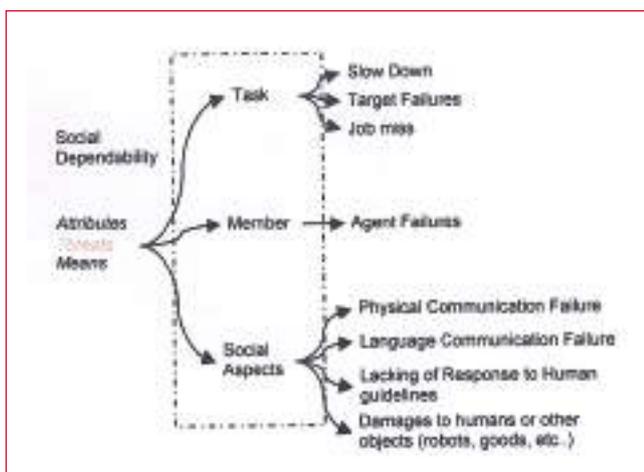


FIGURE 4

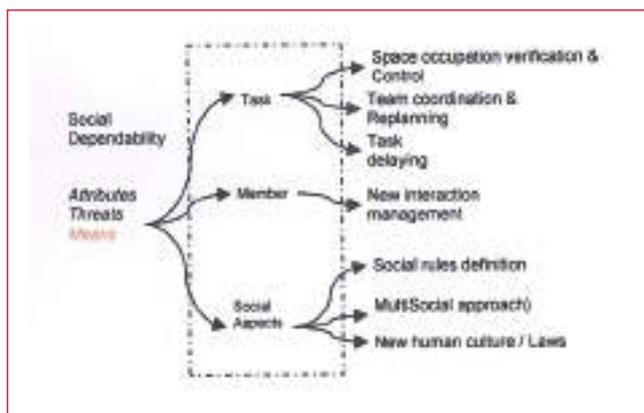


FIGURE 5

$$\text{Reliability} = R \left(t, \text{Power}, \text{Speed}, \text{Density}, \sum_i w_i \text{CDM} \right)$$

$$\text{Integrity} = I \left(t, \text{Comm}, \{ \text{Role}_i \}, \text{Density}, \sum_i w_i \text{CDM} \right)$$

$$\text{Maintenability} = M \left(t, \text{Density}, \text{HRI}, \sum_i w_i \text{CDM} \right)$$

FIGURE 6

Density = density of robots in a specified area
CDM = Classical Dependability of each Member
w_i = Member weight (function of t), not necessarily in relationship with the role of the members
Role = Member role/rank in the Society
HRI = Human Robot Interaction Intensity (can be a task feature but also a function of t)
Comm = Communication Intensity (function of t)

What we have presented here is not supposed to be in any way a consolidated result, but just a possible line of application of the idea.

Keeping that in mind, what we would address and discuss here is the importance of the development of a discipline that could lead to the identification of “Social Dependability Parameters” (SDP) and to a metrics allowing the relevant management.

In a practical situation the “Social Dependability parameters” could be applied through a manageable mathematics procedure by the intelligent agents themselves (we used here a more general definition than robots), when they are operating in a common area, generally with humans.

The application of this approach could prevent potentially dangerous individuals from accessing to a specific area (provided that their relevant work is not a very high priority task), or avoid to abandon, from the same area, a society member if the consequences of the work interruption are not too serious. The evaluation of all the possible choices could be carried out by either following autonomous procedures or submitting the choice to the evaluation of a human authority after giving him all the calculation results. This latter case could be applied and is especially helpful in private houses,

where the owner can manage the associated risks. Many elements need to be defined before trying to develop a functional concept, including the definition of a common Social area: in fact the influence area, that is the area where Social Relationships take place, can be a different variable characteristics for each individual of the “Society” and the definition of this parameter, crucial to the identification of the “Society” members, seems not to be an easy task.

Dependability metrics

In the previous chapter we addressed a conceivable procedure to achieve a possible metrics to evaluate an actual Robotics Society Dependability situation.

Many proposals have been studied and reported in literature to represent different parameters of an RS (Efficiency, Safety, Human-Robot interaction, others) under different definitions of this RS “ensemble” [17] [13][12][14]. Unfortunately all these attempts are not adequate for our situation, mainly because they address parameters that can be considered, at least in the mean values, relevant to a stationary state.

The Dependability application we are more interested in is instead a dynamic state that could be represented through the mentioned SDP.

The expression shown in Figure 7 is not supposed to be an assessed definition, but is a reasonable approximation of what SDP could be.

Where k is ranging along all the considered SDP.

They could be considered as a number of vectors in a multidimensional space. The SDP set identifies a volume in this multidimensional space and we need to choose a procedure for understanding whether this volume is compatible or not with a Dependable Robot Society behaviour.

A conceptually “easy” solution in this representation can be envisaged in the definition of a number of Dependable Hypervolumes (DH) surrounding (hopefully) the SDP volume.

Therefore DH is a geometrical definition that could change in relation to practical situations. In other words, Dependable Hypervolumes could be the equivalent of security laws that can be applied to some situations (i.e., accident preventions on the

$$SDP_k = SDP \left\{ t, Comm, HRI, \{Role\}, Power, Speed, Density, \sum_i w_i CDM \right\}_k$$

FIGURE 7

job), but must be modified to be effective in different human world locations (home safety or school safety rules or others).

SDPs are modifiable entities, changing their space “giacitura” as a function of time and, in a quite large area. In a reasonable time extent, a sort of “pulsing” behaviour is expected, trying to maintain the total volume inside of the Dependable Hypervolume.

When the SDP volume inflates beyond their relevant DH (Laws violation), a serious probability for some Threat happening is expected and using a Real Time Means (Law enforcement) becomes necessary.

The former frame description is far from being complete and exhaustive and, even at this very general level, it is not formalised enough. For instance, the problem of definition of the Social Areas is still existing. In our model, in fact, Areas are defined in terms of both space and time, but it is not clear in general how the boundaries must be chosen, and how they must be defined in the general case.

Since robots have a definite work space operation, also in the case of mobile units, as an example, an Area could be the union of the Working Spaces around a centroid possibly defined by the most important task of that Area (see Figure 3).

In most situations, boundaries are well defined in terms of space (e.g., in houses) whereas in others in terms of time/space (e.g., civil construction sites), but there are many situations where the Areas (like in public places) are physically always crowded due to the simultaneous presence of people, other machines (e.g., cars) and possibly autonomous working machines (i.e., robots). In these situations Tasks can arise and end frequently in different, but physically close places, and consequently an efficient definition of the Area becomes a really difficult affair.

In these cases, Areas lean towards fuzzy and transient

entities and their management with the concepts of Social Dependability could become more difficult, demanding a strict definition and assessment of the mathematical tool.

In general anyway we assume that Areas can be kept separated or can be transformed into a suitable space where they actually are not overlapped.

Of course this is exactly the situation where an effective metrics becomes of the utmost importance to avoid threats (accidents in fact).

Another interesting approach we found in literature to achieve the realisation of an efficient metrics could be based perhaps on the work of Tucker [18] [19], but in any case, once the evaluation of the efficiency (driven by diversity) of robot societal structures has been chosen, we can have a powerful tool to obtain at least a partial social Dependability. Nevertheless the need to define a procedure for the management of Social Dependability still remains open and an appropriate methodology, different from the one we envisaged, must be defined.

Conclusions

Whatever model shall be chosen to cope with the problem defined in the present paper in the future, the problem shall be afforded to define the conditions that ensure a “safe”, “reliable”, “maintainable”, or in a word, “dependable” interactions between the “robot society”, that offer services, and the “human society” (or simply the human person), that takes advantage of their services. In our vision, it is crucial to avoid that a social rejection adverse the robotics technology can take place in case of accidents, with large impact on the public opinion (and of course to avoid or limit accidents as much as possible). Robots (or other artificial beings) will share the human space in the next future, supporting humankind. Therefore the capability to ensure the application of “Social Dependability Parameters” or an equivalent procedure, aimed at predicting the Robot Society behaviour and the consequent possible threats, will be of fundamental importance to exploit such “creatures” in our social tissue. ●

references

- [1] R. dell'Erba, «The Localization problem for an underwater swarm», Tech. Rep. ENEA, 2012.
- [2] R. dell' Erba e C. Moriconi, «Harness: A robotic swarm for environmental surveillance», in 6th IARP Workshop on Risky Interventions and Environmental Surveillance (RISE), Warsaw, Poland, 2012.
- [3] C. Moriconi e R. dell' Erba, «The Localization Problem for Harness: A Multipurpose Robotic Swarm», in SENSORCOMM 2012, The Sixth International Conference on Sensor Technologies and Applications, 2012, pagg. 327–333.
- [4] R. dell' Erba e C. Moriconi, «HARNES: A ROBOTIC SWARM TO EXPLORE AND PROTECT UNDERWATER MARINE COAST», presentato al Quarto Simposio Internazionale: “Il monitoraggio costiero mediterraneo: problematiche e tecniche di misura, Livorno, 2014.
- [5] R. dell' Erba e C. Moriconi, «HARNES: A Robotic Swarm for Harbour Security”, presentato al International workshop Port and Regional Maritime Security Symposium, Lerici (Sp) Italy.
- [6] «FMEA - Failure Mode and Effects Analysis, FMECA». [In linea]. Available at: <http://www.fmea-fmeca.com/>. [Consultato: 07-apr-2011].
- [7] Laprie, Dependability: Basic Concepts and Terminology. Springer-Verlag, 1992.
- [8] A. Avizienis, J. C. Laprie, B. Randell, e U. of N. upon T. C. Science, «Fundamental concepts of dependability», Tech. Rep. Ser.-Univ. Newctle. TYNE Comput. Sci., 2001.
- [9] A. Halme, P. Jakubik, T. Schonberg, e M. Vainio, «The concept of robot society and its utilization», in Advanced Robotics, 1993. 'Can Robots Contribute to Preventing Environmental Deterioration?'. Proceedings., 1993 IEEE/Tsukuba International Workshop on, 2002, pagg. 29–35.
- [10] A. Halme, P. Jakubik, T. Schonberg, e M. Vainio, «The concept of robot society and its utilisation in future robotics», IEE CONTROL Eng. Ser., pagg. 255–255, 1995.
- [11] S. Li, L. Shuai, X. Cheng, Z. Tang, e J. Yang, «A Descriptive Model of Robot Team and the Dynamic Evolution of Robot Team Cooperation», Arxiv Prepr. Cs0601059, 2006.
- [12] C. Xian-yi, L. Shu-qin, e De-shen X., «Study of self-organization model of multiple mobile robot», Arxiv Prepr. Cs0601062, 2006.
- [13] J. W. Crandall, C. W. Nielsen, e M. A. Goodrich, «Towards predicting robot team performance», in Systems, Man and Cybernetics, 2003. IEEE International Conference on, 2003, vol. 1, pagg. 906–911.
- [14] D. R. Olsen e M. A. Goodrich, «Metrics for evaluating human-robot interactions», in Proceedings of PERMIS, 2003, vol. 2003.
- [15] W. Sheng, Q. Yang, N. Xi, e J. Tan, «A Distributed Bidding Algorithm for Multi-robot Exploration with Safety Concerns», in International Conference on Complex Systems, 2004, pagg. 633–640.
- [16] E. Bonabeau, M. Dorigo, e G. Theraulaz, Swarm intelligence from natural to artificial isystems. New York: Oxford University Press, 1999.
- [17] W. Sheng, Q. Yang, J. Tan, e N. Xi, «Risk and efficiency: A distributed bidding algorithm for multi-robot coordination», in Intelligent Control and Automation, 2004. WCICA 2004. Fifth World Congress on, 2004, vol. 5, pagg. 4671–4675.
- [18] Tucker Balch, Hierarchic social entropy: an information theoretic measure of robot group diversity, in Autonomous Robots 8, 209-237, 2000, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.
- [19] Tucker Balch, Social Entropy: a New Metric for Learning Multi-robot Teams, in Proc. 10th International FLAIRS Conference (FLAIRS-97), pag. 272-277.



Low-temperature studies of hydrocarbon synthesis

CO₂ hydrogenation in the presence of Ni- and Fe-based catalysts was evaluated as a potential reaction for abiotic production of hydrocarbon in geologic time. The methane production was experimentally studied in an atmosphere of H₂ and CO₂ (5:1) at 1 bar and 50 °C with NiO, Fe₂O₃ and Fe₂O₃xFeO (magnetite) powders as catalysts. The measurements showed evident traces of methane/ethane on NiO and ethylene on iron oxide and magnetite

■ Alfonso Pozio, Massimo De Francesco, Stefano Galli

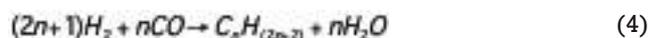
Introduction

In nature, most hydrocarbons were produced by microbial processes or thermogenic degradation of organic matter in sedimentary rocks (i.e., biotic hydrocarbons). This biogenic explanation does not explain some hydrocarbon deposits, as the presence of oil and methane within non-sedimentary rocks upon the Earth. In general, most of the articles published about abiotic hydrocarbons, concerned its detection in a specific experimental environment, trying to define possible mechanism for its production. Although it has been traditionally assumed that abiotic hydrocarbons is mainly related to mantle-derived or magmatic processes, a new generation of data is showing that low-temperature synthesis related to gas-water-rock reactions is more common than previously thought [1]. Particularly, among the various theories, methane and/or hydrocarbons could be produced by low-temperature, gas-water-rock reactions in continental settings, even at shallow depths [1,2]. Specifically, a growing interest was focused on the role of serpentinization of ultramafic rocks, either on land or seafloor [2,3]. Serpentinization is an alteration process of low-silica,

ultramafic rocks, rich in olivine and pyroxene minerals and characteristic of the lower oceanic crust and upper mantle. Water-rock reactions result in the oxidation of ferrous iron from olivine and pyroxene, resulting in the precipitation of ferric iron in magnetite (Fe₃O₄) and other minerals (serpentine, brucite) (eq. 1), and in the release of hydrogen (eq. 2) [3]:



At low temperatures (< 150° C) these reactions result in extremely alkaline pH (above 10). The combination of H₂ and CO₂ or CO (from decomposition of limestone or via circulating meteoric waters) under highly reducing conditions could lead to methanation (Sabatier Reaction - SR) and/or other hydrocarbons through Fisher-Tropsch (FT), which involve the reduction of CO₂ and/or CO by H₂ on a catalytic surface to form bound methylene groups that polymerize into long chain hydrocarbons (eqs. 3 and 4). [3,4,5]



As an example, abiotic CH₄ at the Earth's surface has been found to be related to low-temperature serpentinization in ultramafic rocks, such as in the submarine Lost City Hydrothermal field (LCHF) [6]

■ Alfonso Pozio, Massimo De Francesco, Stefano Galli
ENEA, Technical Unit for Renewable Energy Sources



and, on land, in ophiolites or igneous intrusions in the Philippines, Oman, New Zealand, Turkey, Italy, Greece, and Japan, [1]. Methane has also been measured in other sites with active serpentinization, but the data required to determine the CH_4 origin are incomplete or not available.

FT and SR are catalyzed by transition metals/oxides, so that the conversion of the gas molecules occurs on the metal surface. The Sabatier reaction (SR), is reversible and exothermic ($\Delta H = -167 \text{ kJ/mol}$) and proceeds spontaneously and catalytically at relatively low temperatures (250°C). Experimentally, FT synthesis have been widely reported under hydrothermal conditions, at temperatures above 200°C and high pressures, using Ni, Fe and Cr, which are the most abundant transition metals in ultramafic rocks [7-9]. Recently, the methanation under wider geologic conditions, low temperature ($<50^\circ \text{C}$) and pressure was suggested, as a possible generation mechanism of the abiogenic heavy methane in some geological sites [10,11].

In the past, very few works did analyse these kinds of reactions with temperature lower than 200°C and atmospheric pressure due to the lacking industrial interest. For natural gas formation in coalbed the mechanism of hydrocarbons hydrogenolysis on Fe and Ni natural catalysts in an atmosphere of H_2/CO_2 (4:1) at 1 bar and 180°C was tested experimentally [12,13]. It was evidenced that iron and nickel minerals, which can be present in coals at low levels, can become active under geologic conditions [12,13].

Other works demonstrated the possibilities of hydrocarbon generation at lower temperature on ruthenium (46°C) and rhodium (25°C) [14-17]. However, from a geological point of view platinum group elements occur in rocks only in trace amounts (orders of hundreds of ppb), so their catalytic role in nature should be quantified. On the other hand, the most abundant catalysts available in rocks, like chromium (e.g., chromitites in peridotites), iron (magnetite) and nickel (e.g., in awaruite) could support a more abundant production of abiogenic hydrocarbons over longer time scales. Such a slow methanation is theoretically possible but not yet experimentally demonstrated in the laboratory.

The present work has analysed the hydrocarbon synthesis from a mixture H_2/CO_2 at low temperature and pressure on Ni- and Fe-based catalysts in order to verify the possible production of abiogenic methane in particular geological environments, in the presence of these metals. The work is aimed at evaluating, through laboratory experiments, the process of hydrocarbon generation and CO_2 removal, with particular emphasis on methanation at low temperature conditions.

Experimental

Catalysts

Two grams of a commercial, nickel-based catalyst (CRG-F Syntetix), Fe_2O_3 and $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{FeO}$ 99.9% powders (Aldrich) were used just as received. CRG-F is commonly used in the industrial pre-reforming process to convert heavy hydrocarbon feed to methane and for the Sabatier Reaction (SR) its composition is: NiO 75 wt%, SiO_2 0.2 wt%, K_2O 0.35 wt% and the rest as Al_2O_3 balance. The Ni-based catalyst was chosen because it is a traditional catalyst for SR and it is known to be quite effective. On the other hand, Fe-based catalysts were selected since iron is the most abundant metal in the ophiolite minerals.

Experimental apparatus and product analysis

Tests were performed in a quartz reactor, the experimental apparatus of which is shown in Fig. 1. Catalyst powder under test is deposited on an inert septum placed in the 41 ml quartz reactor R (\varnothing 18 mm). The reactor can be alternatively fed with helium or a 5:1 H_2/CO_2 mixture (eq 3. evidence for a ratio not lower than 4), with flow rates separately controlled by two thermal mass-flow controllers (Bronkhorst) at 10 mL min^{-1} . Both gas supplies come from cylinders (Air Liquide, 99.9%).

The reactor can be by-passed (V2) by submitting the gas stream directly to the MS/GC (580GCMS Perkin Elmer) analysis for checking the gas composition. The spectrometer was calibrated with a 10 mL min^{-1} flow from a certified 0-60-120 ppm CH_4 , ethane, ethylene in H_2/CO_2 (Air Liquide). The mass spectrometer, equipped with a multi-port inlet automated valve, is in-line with the reactor. A $100 \mu\text{L}$ sample of the gas coming out from

the reactor is sent to the spectrometer and analyzed. The Mass Spectrometer (MS) analysis parameters were: Source Temperature: 200° C, mass scan: 10–80 amu. Measurements were carried out at 50° C by means of a proportional–integral–derivative, thermo-controlled, heating sleeve placed around the reactor. Before each test, the reactor temperature was increased up to 130° C in Helium stream for 30 min in order to drive the desorption of hydrocarbons from the powder under test. After such a preliminary desorption, the reactor temperature was set to 50° C and then three testing procedures were performed with different scopes. In the first set up (S-1) the test temperature was fixed (50° C) and the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor for 10 min. Then, the reactor was by-passed (V2) and closed at its lower end (V3), creating a fixed H₂/CO₂ atmosphere inside the reactor. After a prefixed short incubation time (1-5 hours), the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor again (V2, V3) and immediately analysed. The chemical analysis of the stream from the reactor outlet was measured and compared with that of the H₂/CO₂ by-passed stream to reveal the net production of hydrocarbons. (incubation tests at 50° C were performed also in He atmosphere, in order to verify in advance the absence of hydrocarbons in the powders).

Along the above tests in the quartz reactor, other long-time tests were performed. One gram of each catalyst was placed in a glass vial (20 mL). The vial was vacuumed and then gas-filled with H₂/CO₂ (5:1) at 3 bar and heated in oven at 50° C. After a three-month

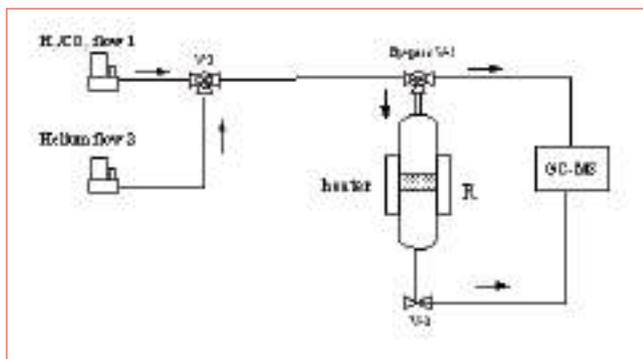


FIGURE 1 Schematic of the measurement apparatus

thermostated incubation the gas inside the vials was sampled at 25° C with a 100 µL gas-tight syringe and analysed using a Fison Instrument GC-8000 Series gas-chromatograph by means of a Photoionization detector (PID).

In a different measurement set (S-2) the test temperature was fixed at 50° C and the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor for 10 min in order to have gas adsorption. Then, the Helium stream was sent through the reactor non-stop for 12 hours and immediately after the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor again and analysed.

In a third set-up (S-3), the reactor temperature was fixed at 50° C and the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor for 10 min in order to have gas adsorption. Temperature was then increased to 130 °C and Helium was sent through the reactor for 10 min in order to have gas desorption. Finally, the Helium stream was sent through the reactor non-stop for 12 hours at 50 °C, and immediately after the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor again and instantly analysed.

The above tests (S-2 and S-3) were aimed to verify/exclude the mechanical effect of the stream gas and of the temperature onto the adsorbed species in order to establish a correct analysis method.

Results

Figures 2 and 3 show the results obtained on all the catalysts at 50° C in the first three hours with the S-1 set up apparatus. Reported data represent an average of at least three different measures for every catalyst. The Ni-based catalyst showed a substantial presence of methane but also some ethane trace with a methane/ethane ratio of about 4-4.5. Conversely, the magnetite and ferrite catalysts did not produce methane or ethane, but they showed a significant presence of ethylene. All hydrocarbons were produced in little amount due to the low operative temperature and pressure and to the consequent slow kinetics.

These results suggest that a direct Sabatier's reaction (SR) occurs on the NiO-based catalyst following Eq. 3, and partially a two-stage Fischer-Tropsch (FT) reaction, too, where the first stage hydrogenates CO₂ (Reverse Water Gas Shift - RWGS), whereas the second stage

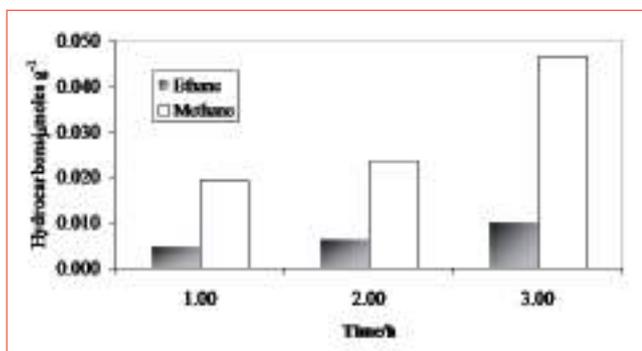


FIGURE 2 Hydrocarbon production for gram of catalyst on the NiO-based catalyst at 50 °C at different time values with S-1 setup

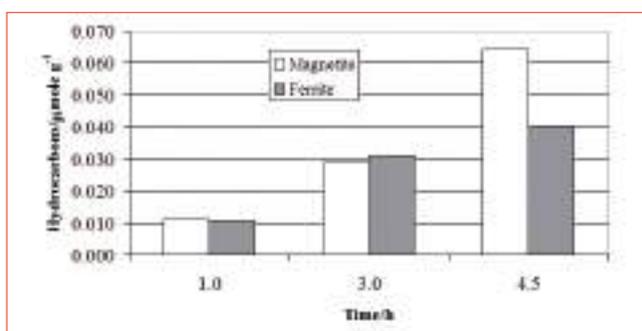
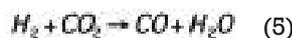


FIGURE 3 Ethylene production for gram of catalyst on Ferrite and Magnetite catalyst at 50 °C at different time values with S-1 setup

follows the standard FT hydrogenation of CO to form ethane (Eq. 6):



On the iron-based catalyst the ethylene product can be explained with a different second stage:



Carbon dioxide hydrogenation to CO (eq. 5) is a reversible reaction and leads to equilibrium. This equilibrium is very much influenced by temperature but it also depends on the H_2/CO_2 ratio. As an example, Puskas et al [18] showed that the equilibrium conversion of CO_2 to CO at 50° C was about 2.3%, with an H_2/CO_2 ratio 4:1.

Table 2 shows the results obtained after three months of incubation at 50 °C, sampling vial with gas-tight syringe. The Ni-based catalyst showed a substantial presence of methane but also some ethane trace with a methane/ethane ratio of about 32. Conversely, the magnetite and ferrite catalysts did not produce methane nor ethane but they showed a significant presence of ethylene. Surprisingly, the amount of measured methane and

Catalyst	CH ₄		CH ₃ CH ₃		CH ₂ =CH ₂	
	ppm	*µmole g ⁻¹	ppm	*µmole g ⁻¹	ppm	*µmole g ⁻¹
Ni-based	34	0.047	11	0.010	-	-
FeO-Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	31	0.029
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	34	0.031

* For gram of catalyst

TABLE 1 Hydrocarbon production in H_2/CO_2 5:1 at 50 °C and 1 bar after 3 hours

Catalyst	CH ₄		CH ₃ CH ₃		CH ₂ =CH ₂	
	ppm	*µmole g ⁻¹	ppm	*µmole g ⁻¹	ppm	*µmole g ⁻¹
Ni-based	9.90	8.83×10^{-3}	0.31	2.77×10^{-4}	-	-
FeO-Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0.31	2.77×10^{-4}
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	0.14	1.25×10^{-4}

TABLE 2 Hydrocarbon production in H_2/CO_2 5:1 at 50 °C and 3 bar after three months

ethane were respectively 2÷5 and 17÷36 lower than those produced in the short time configuration. Moreover, the methane/ethane ratio produced and measured in this configuration was about 8, i.e. higher than those obtained in the previous configuration. This effect could be due to the higher volatility of methane with respect to ethane, evidenced for the long incubation time.

Again comparing the results (Table 2 and Figures 2-3), the amount of measured ethylene was of a magnitude order of about twice as lower as those produced in the short-time configuration ($1.1\div 6.4\times 10^{-2}$ $\mu\text{mole g}^{-1}$ for magnetite and $1.1\div 4.0\times 10^{-2}$ $\mu\text{mole g}^{-1}$ for ferrite).

Based on all these evidences, we can suppose that the different sampling method (syringe or on-line sampling) influenced the analysis results. The gas-tight syringe sampling at 25° C had the limit that hydrocarbons, strongly adsorbed on the catalyst, were hardly removed and so they were underestimated.

Figure 4 shows the characteristic signal for fragment CH (m/z 13) and CH₃ (m/z 15), obtained on NiO- and

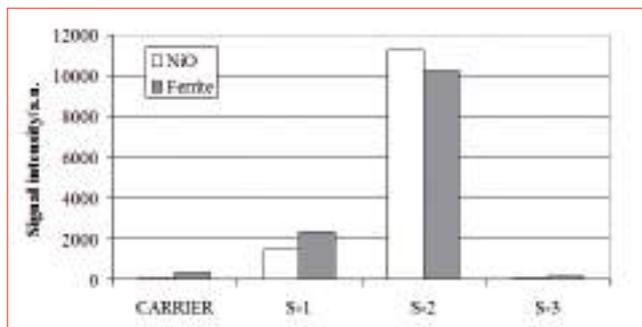


FIGURE 4

Fe₂O₃-based catalysts at 50° C in S-1, S-2 and S-3 set up apparatus compared with the signal for the H₂/CO₂ carrier bypassing the reactor.

Figure 4 shows qualitatively that, when the H₂/CO₂ stream was sent through the reactor for 10 min (S-2 setup), these gases adsorbed strongly onto the catalyst powder and they were not removed by the Helium stream flowing through the reactor non-stop for 12 hours. Conversely, if the reactor temperature was previously increased to 130 °C and Helium was sent through the reactor for 10 min (S-3), then H₂/CO₂ gases were desorbed completely and the analysis after 12 hours in Helium stream did not reveal hydrocarbons. These results, revealed by the S-2 setup, explain the reason why the hydrocarbon analysis on these catalysts was strictly related to the sampling method used. We can rationalize the results in two points:

- 1) the analysis of the produced hydrocarbons depends on the use of a gas able to desorb them;
- 2) a conditioning temperature is required in order to remove completely H₂/CO₂.

Table 3 compares literature data at temperature ≤ 50° C on different kinds of catalysts. Unlike the Ni and Fe catalysts, tested in this work just as received, all the others listed in Table 2 underwent a reduction treatment in pure hydrogen at 200-300° C. Some details of these experiments must be stressed. The artificial reduction treatment, very useful to activate the catalyst, does not normally occur in nature, where only iron and nickel in the oxidized form are available in the rocks. In the works of Tampi et al [10-11], a UV source was needed in order to obtain methane, while in dark conditions the methane production was very reduced. Jacquemin

Catalyst	Temperature °C	H ₂ /CO ₂	CH ₄ (Other) $\mu\text{moles g}^{-1} \text{h}^{-1}$	Weight g	Metal %	Reference
Rh/Al ₂ O ₃	25	(9-300)	2400 -	0.15	1.0%	[16]
Ru/TiO ₂	46	12	105(26) ¹ -	0.10	3.8%	[14]
NiO/Al ₂ O ₃	50 °C	5	0.046 (0.019) ²	2	59%	This work
Fe ₂ O ₃	50 °C	5	- (0.011) ³	2	70%	This work
Fe ₂ O ₃ xFeO	50 °C	5	- (0.011) ³	2	72%	This work

¹Dark, ²Ethane, ³Ethylene

TABLE 3 Comparison with literature data

et al. [12] performed a particular two-stage experiment with a very high H_2/CO_2 ratio. As reported, two known quantities of carbon dioxide (0.0417 and 1.33 mmol) were introduced in the reactor with Helium. Hydrogen was then kept flowing into the cell for 15 min at a rate of 20 mL min^{-1} . The authors observed that the production of CH_4 was higher when very small amounts of CO_2 flowed in [12].

In the past, Medina et al. [12,13] working at much higher temperature ($180 \text{ }^\circ\text{C}$) than all the previous ones, reported that methane can be produced as the only product from CO_2 hydrogenation only if Ni catalyses the reaction but, methane, ethane, and propane were detected immediately after the beginning of the reactions.

However, ethane and propane were converted to methane after several hours of reaction, so by the end of the reaction, methane was the only component of the gas. The Medina data [12,13] partially confirm the results on NiO in this work, where both methane and ethane was detected in the first hours.

Moreover, Medina et al. results [12,13] evidenced that small fractions of ethane and propane were found in addition to methane in the products from Fe-catalyzed reactions. In this case, methane and propane appeared after several hours of reaction, but in contrast to the Ni-catalyzed reactions, their amounts increased steadily. In this case our data were different because only ethylene was detected in the very first hours.

In order to evaluate the possibility of hydrocarbon generation in geologic environments, with particular emphasis on the methanation under low temperature conditions, it is important to normalize the obtained results with the natural abundance of the elements reported in Table 3. Since these materials are present in the earth's crust, it is plausible to assume the production of hydrocarbons by inorganic reaction through the serpentinization. Table 3 data can be normalised with

Catalyst	Temperature $^\circ\text{C}$	CH_4 $\mu\text{moles kgcrust}^{-1} \text{ h}^{-1}$	Reference
Rh	25	0.24	[16]
Ru	46	0.00276 (0.00068)1	[14]
Ni	$50 \text{ }^\circ\text{C}$	0.0065	This work
Fe	$50 \text{ }^\circ\text{C}$	0.922	This work
Fe	$50 \text{ }^\circ\text{C}$	0.892	This work

TABLE 4 Normalisation of Table 3 data with respect to the abundance of elements in the earth's crust

respect to the abundance of elements in the earth's crust [19]: Fe $5.63 \times 10^4 \text{ mg/kg}$, Ni $8.4 \times 10^{-1} \text{ mg/kg}$, Ru and Rh $1 \times 10^{-3} \text{ mg/kg}$, evidencing (Table 4) that for high crust rock amount and in geological times both oxides could produce relevant hydrocarbons amount.

Conclusion

Our results showed that both high-concentration Ni and Fe oxides without any particular reducing treatment could produce light hydrocarbons (methane and/or ethane, ethylene) at low temperature and pressure conditions similar to those present in particular geologic environments.

The data obtained have bridged the lack of literature references at low temperature for the Ni- and Fe-based catalysts, adding useful information to the mechanism comprehension. In addition, the different tests have established the correct analysis method for this kind of measures. ●

Acknowledgments

This work was carried out under the contract: Low temperature methanation in geologic environments (n° 31/2012/COMM0HI07), funded by the Italian National Institute of Geophysics and Volcanology (INGV).

- 1) G. Etiope, B. Sherwood Lollar, "Abiotic methane on earth", *Reviews of Geophysics*, 51 (2013) 1-24.
- 2) N. H. Sleep, A. Meibom, Th. Fridriksson, R. G. Coleman, D. K. Bird, "H₂-rich fluids from serpentinization: Geochemical and biotic implications", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101/35 (2004) 12818-12823.
- 3) M.O. Schrenk, W.J. Brazelton, S.Q. Lang, "Serpentinization, Carbon, and Deep Life", *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 75 (2013) 575-606.
- 4) R.B. Anderson, 1984. *The Fischer-Tropsch Reaction*. Academic Press, London.
- 5) Y.A. Taran, G.A. Kliger, E. Cienfuegos, A.N. Shuykin, "Carbon and hydrogen isotopic compositions of products of open-system catalytic hydrogenation of CO₂: Implications for abiogenic hydrocarbons in Earth's crust", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74 (2010) 6112-6125.
- 6) G. Proskurowski, M.D. Lilley, J.S. Seewald, G.L. Früh-Green, E.J. Olson, J.E. Lupton, S.P. Sylva, D.S. Kelley, "Abiogenic Hydrocarbon Production at Lost City Hydrothermal Field", *Science*, 319 (2008) 604-607.
- 7) D.I. Foustoukos, W. E. J. Seyfried, "Hydrocarbons in hydrothermal vent fluids: the role of chromiumbearing catalysts", *Science*, 304 (2004) 1002-1005.
- 8) T. M. McCollom, J. S. Seewald, "Carbon isotope composition of organic compounds produced by abiotic synthesis under hydrothermal conditions", *Earth and Planetary Science Letters*, 243, (2006) 74-84.
- 9) Y.A. Taran, G. A. Kliger, V. S. Sevastyanov, "Carbon isotope effects in the open-system Fischer-Tropsch synthesis", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71 (2007) 4474-4487.
- 10) G. Etiope, G., M. Schoell, H. Hoshgomez, "Abiotic methane flux from the Chimaera seep and Tekirova ophiolites (Turkey): understanding gas exhalation from low temperature serpentinization and implications for Mars", *Earth and Planetary Science Letters*, 310 (2011) 96-104.
- 11) G. Etiope, B.L. Ehlmann, M. Schoell, "Low temperature production and exhalation of methane from serpentinized rocks on Earth: A potential analog for methane production on Mars", *Icarus*, 224/2 (2013) 276-285.
- 12) J.C. Medina, S.J. Butala, C.H. Bartholomew, M.L. Lee, "Low temperature iron- and nickel-catalyzed reactions leading to coalbed gas formation", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64/74 (2000) 643-649.
- 13) J.C. Medina, S.J. Butala, C.H. Bartholomew, M.L. Lee, "Iron-catalyzed CO₂ hydrogenation as a mechanism for coalbed gas formation", *Fuel*, 79 (2000) 89-93.
- 14) K.R. Tampi, J. Kiwi, M. Gratzel, "Methanation and photo-methanation of carbon dioxide at room temperature and atmospheric pressure", *Nature*, 237 (1987) 506-508.
- 15) M. Gratzel, J. Kiwi, R. Tampi, "Mixed ruthenium catalyst", Patent US4847231 (1989).
- 16) M. Jacquemin, A. Beuls, P. Ruiz, "Catalytic production of methane from CO₂ and H₂ at low temperature: Insight on the reaction mechanism", *Catalysis Today*, 157 (2010) 462-466.
- 17) P. Ruiz, M. Jacquemin, N. Blangenois, "Catalytic CO₂ methanation process", Patent WO2010006386 (2010).
- 18) I. Puskas, "Can carbon dioxide be reduced to high molecular weight Fischer-Tropsch products?", *Proceedings of American Chemical Society, ACS 213 National meeting (San Francisco, 13-17 1997)*.
- 19) CRC Handbook of Chemistry and Physics, David R. Lide, editor, 88th edition. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group, (2008) 14-17.



Eco-Evo-Centrism: a new environmental philosophical approach

In the international theoretical debate on environmental philosophy and ethics scholars have different views: strong and weak anthropocentrism, ecocentrism, individualistic and holistic biocentrism. The key point of contention is the human being's place in nature.

A scientific –anyway alert to philosophic changes– outlook gave me the chance to elaborate a theory to overcome contrasts. I have called it Eco-Evo-Centrism to underline that the human being is both son of nature and the exponent of an evolutionary leap. The core of this approach is a view of the human being as the owner of new *emergent properties* arisen from relations. *Cultural evolution* sets him free from biological evolutionary laws, nevertheless it exposes him to the perils of *maladaptation*. The subsequent power of choice makes the human being responsible for his and the whole planet's future. In this dissertation the principal argumentations of this theory are summarized

DOI: 10.12910/EAI2014-65

■ Piergiacomo Pagano

Introduction

Environmental philosophy may be defined as a process that draws knowledge from every human activity (science, literature, art, myth, etc.). It integrates interdisciplinary knowledge to state those principles useful to legislators in pursuing sustainability, balance, and harmony with nature. Environmental ethics is its engine. [1] Environmental philosophical reflections are important in debating many current questions like sustainable development, [2-3-4] and global climate change. [5-6-7] For example, thanks to the environmental philosophical reflection the definition of sustainable development has changed over time. [8] We could classify different environmental philosophy views as different kind of anthropocentrism, biocentrism, and ecocentrism, [9] depending on how they consider the human being's place in nature. Other views, like eco-sociology [10] and theocentrism, [11] although some authors consider them apart, may be included into the above-cited three big categories, too. [12]

To establish an analytical environmental philosophy

we have to combine two apparently conflicting issues. [13] Looking at the world only with the eyes of a narrow scientific method we could have a distorted picture of reality. Plato himself in his allegory of the cave invited us to focus our attention to our mind and not to reality as it is. [14] In a more narrative way, also the well-known French author A. de Saint-Exupéry affirms that: "What is essential is [*sometimes*, Ed.] invisible to the eye". [15]

On the one hand our moral choices cannot directly derive from scientific data and evidence only. On the other, we cannot ground our moral thought only on the clay feet of subjectivity. Scientific knowledge is recognized as fundamental [16-17] to rightly place living organisms in nature, and to precisely know their interrelatedness. Then, since its very beginning

■ Piergiacomo Pagano
 ENEA, Technical Unit for Models, Methods and Technologies for Environmental Assessments

environmental philosophy has involved many scientists, first of all naturalists and biologists. [18] To go beyond this standstill we have to both base our reasoning on science and recognize the non-material aspects of nature and humanity.

Rationale

The first pillar of my analytical environmental philosophy are both reason and empiricism. Without any adequate check method every assertion could be wrong. Think about a simple example. In the Middle Ages people believed the Earth was flat. Nevertheless, utilizing reasoning and measurements, people had to realize the Earth had to be, at least, convex. In fact, seeing distant ships in clear days people had to note only sails, not hulls. They had to note the changing starry sky moving to North, or South, etc. Many centuries before the Middle Ages ancient Greeks were able to recognize the spherical Earth shape. Moreover, they achieved quite accurate evaluations, as the Earth's diameter and the distance from the Earth to the Moon.

The second pillar of my environmental philosophy is a more *critical approach towards science*. Modern science affirmed that a phenomenon does not exist if it is not measurable. Logic tells us differently: if we have not found an objective and/or rational explanation about a paranormal phenomenon, then we cannot assert neither that it is real, nor that it is not. While waiting for a future outcome, we have to suspend any declaration. This approach leaves the door open to a quantity of problems and invites us to discuss once again about the human being's place in nature and his role towards other entities.

Human being's place in nature

According to the Hebraic-Christian tradition, species are created by God in a fixed mode. In this vision nature was arranged in a ladder (*scala naturae*) starting from minerals, passing through fungi, plants, and animals. At the apex stood human beings. This vision dates back to Aristotle, the highest incisive observer of nature in the Greek ancient world. Nevertheless, in spite of his innovative abilities to examine in depth the concept

of science –e.g. when he wrote: “Hence, experience appears to be nearly similar to science and art. But science and art proceed to men through experience”–, [20] Aristotle depicted a hierarchical order in which less perfect organisms existed for the sake of superiors. “[...] we may conclude [...] that plants are created for the sake of animals, and animals for the sake of men [...]”. [21] Evidently, otherwise from what happened about the spherical shape of the Earth, life was too complex to being understood thanks to observation and reason.

Christian thinkers found this argument useful for their theology, and extended the linear vision of the ladder of nature in a more comprehensive *Great Chain of Beings*. Since Bible affirmed that man was created in the image of God, they placed him between material things and spiritual entities. In the lower half they placed inferior living beings –like plants, and animals considered mere machines–, in the upper half they placed series of supernatural beings –like angels, and archangels– until arriving to God. Despite the elaborated conjecture, in the real world their conclusions did not work. When clergymen began to look at nature to glorifying God they found at least three inconsistencies in the Christian tradition: clear injustices, too much diversity of animals and plants, fossils embedded in rocks. [22]

What science tells us

According to the contemporary physics all living organisms, human being included, obey the same physical laws as all things do, whether inorganic or not, in the universe. Chemistry has clarified that atoms in living organisms are the same chemical elements we find in the inorganic world and in the entire universe. Organic and biological chemistry has clarified that macromolecules in all living beings are similar. Genetics has clarified that we share the same genetic code with all other living beings. Ecology has clarified that no organism –or species– could live alone. Human being is not an exception. We are tied to the others in a thick web of relations, loops, and feedbacks. In the ecological whole, human being has his own peculiarities just as any other living beings have, and he may be a resource or a damage for ecosystems, depending



on his impact. In summary science has moved human being away from the center of the universe. Our place is no longer at the top of some sort of *scala naturae*, nor at the center of the Great Chain of Beings. For these reasons, biocentrism affirms that we do not have anything special. We think we are superior because we are judging ourselves. Moreover, we are less important compared to *key species*, the extinction of which would cause their whole ecosystem collapse. Conversely, if we became extinct life on Earth will normally continue. Actually, the situation will be better to many other species, because we are occupying wide ecological niches, and we are consuming a great deal of natural resources. Some misanthropes go beyond arguing that our departure would be greeted with enthusiasm by the natural world. [23]

Nevertheless, we have so far missed something important. If we look at nature with a more holistic – anyhow objective – eye, we find a human being characterized by some evolutionary novelties that make him a special organism–capable to enfranchise himself from biological evolutionary laws.

Emergent properties

An object possesses emergent properties if it shows more properties than the sum of the properties of its parts. A living cell has the emergent property by the

name of *life*. Unlike a stone, a living cell eats, eliminates wastes, reproduces, and so forth. In other terms a cell is a living organism, the stone is a non-living thing. Comparing a stone and a living cell, we could argue that life is a property that depends on the complex macromolecules the cell has and the stone has not. I affirm that this reasoning is wrong. A dead cell has the same macromolecules as the living cell but it does not eat, it does not eliminate wastes, it does not reproduce. The real difference is about relations among parts. Both macromolecules in a dead cell, and little inorganic molecules in a stone, are simply linked together by cohesion forces. Conversely, macromolecules in a living cell are parts of networks of relations.

Emergent properties are almost everywhere. Animals have many of them, like view and ambulation. They arise from relations among cells, tissues, organs. Some properties emerge from relations among organisms. Ecosystems have emergent properties thanks to relations among flora, fauna, and the inorganic environment. Woods are not only a sum of trees, riverbanks are not only barriers against floods. From a wood and a riverbank arise new emergent properties by the name of ecosystem services like air and water depuration.

We find emergent properties in inorganic things, too. A clock has the property to show time. A car has the property to carry people and things from one place to another. Moreover, it is not necessary a design to find emergent properties in objects. New properties emerge from inorganic things if they are sufficiently





complex, and their parts are sufficiently interrelated, like big cities are. As G. West said in his 2011 TED speech, *The surprising math of cities and corporations*: “If you double the size of a city [...] then systematically you get a 15% increase in wages, wealth, number of AIDS cases, number of police, anything you can think of. It goes up by 15%, and you have a 15% savings on the infrastructure.” [24]

In summary, emergent properties have nothing supernatural. Life appears incredible to us, even miraculous, because of its extreme complexity. Life is a natural fact. It is intrinsic in nature.

Emergent properties are everywhere. Since evolution has a general direction towards an increasing complexity, [25] many of them appeared in the past, and many of them will appear in the future. Some of the past events represented very important novelties. Life is the most important one. Its preparation lasted hundreds of millions of years, but after its appearance nothing was like before. Every piece of land on Earth was colonized by living organisms.

From then on biological evolution replaced chemical evolution, and a quantity of new emergent properties arose. Living cells started linking together. Inner and outer symbiosis appeared. Multicellular organisms came into the world, and with them a quantity of emergent properties arose. Properties like the ability in using energy more efficiently, inhabiting extreme environment, mating, swimming, flying, and so forth. The list is endless.

Then, after hundreds of millions of years, another great emergent property arose. It happened only few millions of year ago, a short period geologically speaking, but from then on lots of events have happened. It is *culture*. Culture is not a human being's prerogative. Many vertebrates, like mammals and birds, show their cultural traits. Think about bowerbirds, and their aesthetic ability; or dolphins, and their ability to live in complex societies.

Evolution means not only to adapt to a changing environment, *evolution means to start new relations, to find new ways of cooperation, to invent something completely new*, too.

Like chemical evolution, which lasted hundreds of millions of years to give birth to life, biological

evolution lasted hundreds of millions of years to produce a cellular nervous aggregate so complex to be able to recognize itself, to ask questions about itself, its physical body, and all the objects it sees or imagines around it. *Consciousness* was born. Just as culture, consciousness is not a human prerogative. All apes show consciousness when they identify themselves in front of mirrors.

Being aware of our non-superiority, no one may deny that human being's consciousness and culture are more advanced compared with all animal species. Hence, as a matter of fact we cannot believe we are superior, nevertheless we may certainly affirm we own a special status. We represent an evolutionary leap.

Biological evolution limits

In nature, insurmountable physical limits do exist. Paws have problems to bear the weight of an elephant-sized animal. No birds can fly over a definite altitude. Nevertheless, sometimes, an odd phenomenon appears. Biologists call it hyperthelia, without providing a convincing explanation yet. A useful characteristic starts to get bigger and bigger from generation to generation, having some evolutionary advantage. But it never stops. As time passes by, it becomes exaggerated and starts to be detrimental. This is the case of the saber-toothed cats, a group of ancient felines, and of *Megaloceros giganteus*, a big deer that died because of their huge canines and antlers, respectively.

Our brain could be a case of hyperthelia. Geologically speaking its growth has been incredible, passing from 450 cm³ in *Australopithecus africanus*, an early hominid lived more than 3 million of years ago, to the 900 cm³ of *Homo erectus*, a hominin living nearly one million of years ago, and the 1200 cm³ of the volume of a modern *Homo sapiens sapiens*. This growth would have been a big problem for pregnant women –whose conditions had already worsened by the pelvic girdle restriction due to the upright position– if an evolutionary stratagem had not helped them. Some authors, as Robin Dunbar, have hypothesized that children come into the world prematurely. Dunbar wrote: “A baby human is born when its brain is less than one-third its final size. The rest of its brain development continues over the first year

of life. In fact, if we calculate the equivalent gestation period for a conventional mammal of our brain size, we arrive at a mind-boggling 21-month pregnancy.” [26] *The growth of our brain could not be endless.* As a recent scientific research hypothesize: “The laws of physics may well prevent the human brain from evolving into an ever more powerful thinking machine”. [27] Our biological evolution may be at an impasse.

Biological evolution at its end

We are facing two kinds of evolution: one biological, the other cultural. Living species will continue to evolve biologically. Just as cells joined to create multi-cellular organisms, some organisms of the same species will cooperate like a unique living organism. Ants, wasps, and bumblebees have started this kind of biological



evolution. Growth rates and rates of reproduction of whole colonies when considered as superorganisms were nearly indistinguishable from those of individual organisms. [28] In other cases, more complex symbiosis among species will appear, and maybe a new kind of superorganism will arise.

Nevertheless, I presume, *biological evolution may be at its upper limit.* Social insects have started their cooperation in the dinosaurs era without developing something clamorous yet. Rigid symbiosis may be a disadvantage rather than an advantage. Ecosystems do not have some traits a living organism must have. Finally, cultural evolution has arrived, and it is running faster and faster.

Human beings relate to each other in an even more rapid rate, and are going to enfranchise themselves from the biological evolutionary mechanisms. Cultural evolution is going to spread everywhere. Crops and livestock are not selected by nature. Genetically modified organisms have nothing to do with biological evolution. The choice to kill or to nourish an embryo to have a child free of genetic illnesses is a cultural fact. All clues are going the same direction. As biological evolution replaced chemical evolution now, I assume, *cultural evolution is going to replace natural evolution.*

Cultural era

Biological evolution and cultural evolution are very different. In *The Origin and Evolution of Cultures* Boyd and Richerson underline an important fact: “Culture makes human evolution very different from the evolution of other organisms”. [29] The core of their research states that in cultural evolution *maladaptions may spread and accumulate.*

While in biological evolution the adaptive traits (those traits able to favor the adaptability of the owner) pass to offspring, and non-adaptive traits tends to be rejected, in cultural evolution maladaptions flourish. “To get the benefits of social learning, humans have to be credulous, for the most part accepting the ways that they observe in their society as sensible and proper, but such credulity opens human minds to the spread of maladaptive beliefs. [...] Empirical evidence for the predicted maladaptions is not hard to find.” [30]

As a result: *biological evolution is mechanical, cultural evolution is a matter of choices.*

Human being culture has made a huge leap forward in the last few decades. Till the second half of the last century a good artisan could build an object starting from raw materials. Now this ability is lost. *We cannot build on our own the objects we use.* Mobiles are a typical example. They are the result of interconnections among a quantity of knowledge, technologies, and abilities. They are made by hardware and software and need a web of structures to work properly. Our interconnections and relations are in continuous development. The Internet, social networks, and new software to share information are going to replace radio and television. The latter two are unidirectional, from the center to the periphery. The others are bi- and multi-directional. They increasingly interrelate our minds day by day. However, sharing information may be both an enrichment and a loss, for *information doesn't mean knowledge.* Bad information could spread maladaptions the world over.

Eco-evo-centrism, and conclusion remarks

I believe that we are at a point of our evolution when we have to think in an *eco-evo-centric* way. As if to say, we have to take into account that we are biologically similar to other living beings, but we behave differently in comparison with other biological entities. Looking back, natural history teaches us that a quantity

of new properties emerged naturally from relations among entities. Life, culture, and consciousness are the greatest. If we look now, we find a cultural evolution that is going to overcome the biological evolution. Nevertheless, cultural evolution is not mechanical. It requires choices. Moreover, the future will reflect the choices we are doing now. In other terms, the future is in our hand.

Eco-evo-centrism does not have any political position. I just argue that human being is not a plague and, in this respect, it is essential to preserve cultural diversity. [31] Human being may be a resource of nature, a new way to evolve. We are, still now, a transitional organism. On the one hand, we are like animals that feel to grab any material things; on the other hand, we are conscious living organisms that may be striving beyond the material. We have to manage this transition by making wise choices.

Wise choices require freedom of thinking, knowledge, determination, ability. Wise choices are those that prospect a respectable material life for all organisms (human being included) and a flourishing life for them other than material life. In a few words, wise choices pertain to the quality of life.

As aware organisms, I assert we have the responsibility of making choices for something bigger, greater than our little reality. To reach this goal we have to invest in all fields of human activity, especially education. The higher education now, the better the world in the future. ●

references

- [1] P. Pagano (2010), "Dalla biologia alla 'politica propositiva' ", *Inchiesta*, vol. 168, pp. 50-55.
- [2] A. Habib (2013), "Sharing the earth: Sustainability and the Currency of Inter-Generational Environmental Justice", *Environmental Values*, vol. 22, pp. 751-764.
- [3] D.C. Hector et al. (2014), "Sustainability and Sustainable Development: Philosophical Distinctions and Practical Implication", *Environmental Values*, vol. 23, pp. 7-28.
- [4] C. Jolibert et al. (2014), "Addressing Needs in the Search for Sustainable Development: A proposal for Needs-Based Scenario Building", *Environmental Values*, vol. 23, pp. 29-50.
- [5] J. Seibt et al. (2013), "Climate Change, Sustainability, and Environmental Ethics", *Environmental Ethics*, vol. 35, pp. 130-244.
- [6] J.C. Tremmel (2013), "Climate Change and Political Philosophy: Who Owes What to Whom?", *Environmental Values*, vol. 22, pp. 725-749.
- [7] T. Hayward (2012), "Climate change and ethics", *Nature Climate Change*, vol. 2, pp. 843-848.
- [8] P. Pagano (2012), "Ambientalismo Propositivo", in *Etiche dell'ambiente: voci e prospettive*, M. Andreozzi (ed.), Led Edizioni, Milano, pp. 83-115.
- [9] P. Pagano (2004), "Antropocentrismo, biocentrismo, ecocentrismo: una panoramica di filosofia ambientale", *Energia, Ambiente e Innovazione*, n. 2, pp. 72-86.
- [10] M. Bookchin (1980), *Toward an Ecological Society*, Black Rose Books, Montreal.
- [11] V. Mele (2001), "Comunità umana e antropocentrismo: il paradigma dell'interconnessione nella bioetica personalista", *Kèiron*, marzo, pp. 164-173.
- [12] P. Pagano (2006), *Filosofia ambientale*, Mattioli 1885 Editore, Fidenza.
- [13] B.G. Norton (1987), *Why Preserve Natural Variety?*, Princeton University Press, Princeton, p. 15
- [14] Plato (1998), *The Republic*, Book VII, translated by Jowett B., see: <http://www2.hn.psu.edu/faculty/jmanis/plato/republic.pdf>
- [15] A. de Saint-Exupéry (1943), *The Little Prince*, Translated by Katherine Woods, 1943, p. 57, in: <http://www.epubbud.com/book.php?g=LC256NHK>
- [16] P.W. Taylor (1998), "The Ethics of Respect for Nature", in: M.E. Zimmerman et al. (eds.), *Environmental Philosophy*, Prentice Hall, New Jersey, pp. 71-86.
- [17] C. Diehm (2008), "Staying True to Trees: A Specific Look at Anthropocentrism and Non-Anthropocentrism", *Environmental Philosophy*, vol. 5, pp. 3-16.
- [18] E. Hargrove (2012), "Biology, Environmental Ethics & Policy", *Environmental Ethics*, vol. 34, pp. 3-4.
- [19] P. Pagano (2012), *La Politica Propositiva*, Limina Mentis Editore, Villasanta (MB), p. 22-29.
- [20] Aristotle (1812), *The Metaphysics*, printed for the translator Thomas Taylor, Manor Place, Walworth, Surry, by Robert Wilks, 89, Chancery-Lane, Fleet-Street, London, p. 2.
- [21] Aristotle (2004), *Politics*, Ch. VIII, The Project Gutenberg EBook, [EBook #6762].
- [22] For a complete history of biology and some historical information about geology see: P. Pagano (2013), "Storia del pensiero biologico evolutivo", ENEA, Rome. English translation (2013), "The History of thought on biological evolution" Createspace.
- [23] P.W. Taylor (1998), cit., pp. 76-7.
- [24] see: http://www.ted.com/talks/geoffrey_west_the_surprising_math_of_cities_and_corporations.html for transcript see: <http://dotsub.com/view/44fd0678-5eda-47f0-9ed2-532354492afc/viewTranscript/eng>
- [25] Cf. S.J. Gould (1996), *Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin*, Harmony Books, New York City.
- [26] R. Dunbar (2011), *Grooming, Gossip and the Evolution of Language*, Faber & Faber, London, p. 181.
- [27] D. Fox (2012), "The Limits of Intelligence. The laws of physics may well prevent the human brain from evolving into an ever more powerful thinking machine", *Scientific American*, vol. 305, n. 6, pp. 36-43.
- [28] Chen Hou et al. (2010), "Energetic basis of colonial living in social insects", *PNAS*, vol. 107, n. 8, February 23, pp. 3634-3638.
- [29] R. Boyd, P.J. Richerson (2005), *The Origin and Evolution of Cultures*, Oxford University Press, Oxford, p. 4.
- [30] *Ivi*, pp. 8-9.
- [31] R. Rozzi, A. Poole (2011), "Habitats-Habits-Inhabitants, a Biocultural Triad to Promote Sustainable Cultures", In: *Sustainable Development-Relationships to Culture, Knowledge and Ethics*, O. Parodi O, I. Ayestaran, G. Banse (eds.), KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, pp. 53-74.

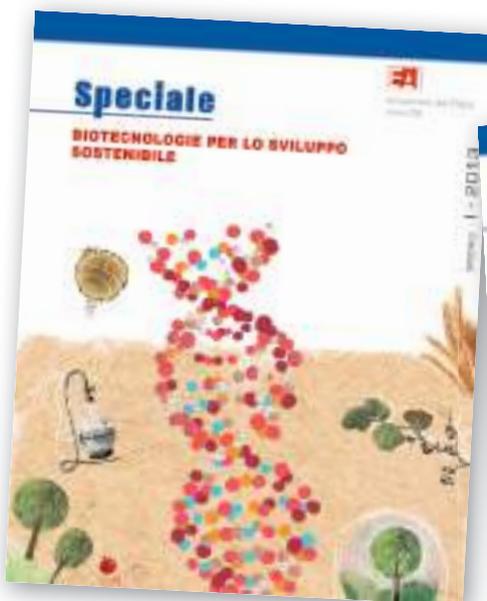
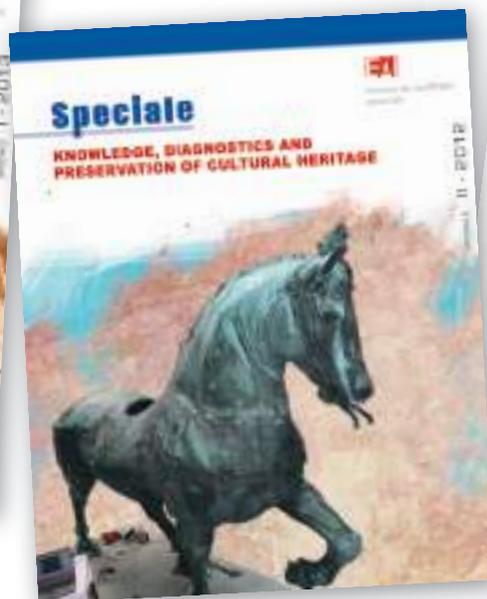
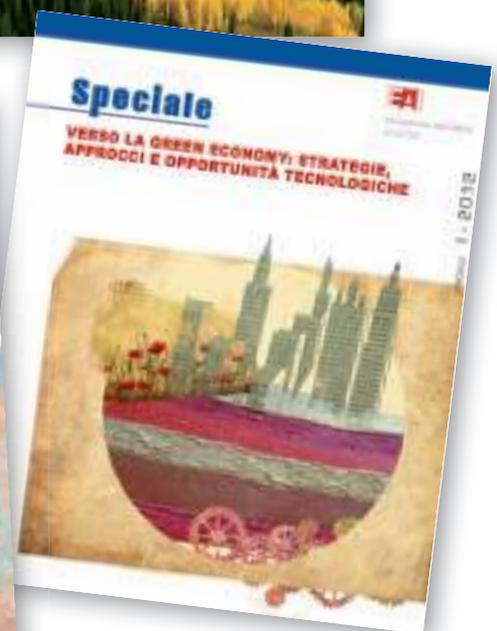
Gli Speciali di Energia, Ambiente e Innovazione

La rivista, oltre ai fascicoli a cadenza bimestrale, realizza numeri “Speciali” monografici su tematiche tecnico-scientifiche di attualità.

Cinque gli Speciali finora pubblicati:

- Le tecnologie di Carbon Capture and Storage
- Forests: a millenary heritage that guarantees us life
- Verso la green economy: strategie, approcci e opportunità tecnologiche
- Knowledge, Diagnostics and Preservation of Cultural Heritage
- Biotecnologie per lo sviluppo sostenibile

Tutti gli Speciali sono disponibili online.



**energia
ambiente
e innovazione**

bimestrale dell'ENEA
anno 60
marzo - giugno 2014