



Vi è un crescente consenso del mondo scientifico sul fenomeno dei cambiamenti climatici, sull'influenza delle attività antropiche sul riscaldamento globale, sulla minaccia che essi rappresentano per l'umanità.

Pari consenso si registra però anche sulla necessità di studiare in modo approfondito gli aspetti scientifici non ancora perfettamente chiariti, in modo da poter definire adeguate strategie di mitigazione e di adattamento in tempi ragionevoli. Il futuro infatti si prospetta tutt'altro che roseo: al 2050 la popolazione mondiale potrebbe superare 9 miliardi di persone, rispetto alle attuali 6,7 miliardi e il consumo globale di energia potrebbe addirittura raddoppiare, con effetti devastanti sul riscaldamento climatico. La risposta a questa sfida va approntata a vari livelli: globale, europeo, nazionale. A livello globale l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'importante organismo scientifico istituito dalle Nazioni Unite, per studiare i cambiamenti climatici, nel quarto rapporto che sarà completato a fine 2007, pone l'accento sulla necessità di azioni immediate per mitigare l'effetto serra, ossia per contenere l'aumento della temperatura al 2100 entro 2-2,4°C e tali azioni prevedono un forte ricorso alle energie rinnovabili. Particolare rilevanza presentano poi gli obiettivi che saranno fissati per il dopo Kyoto, ossia dopo il 2012, quando paesi industrializzati e paesi in via di sviluppo dovranno concordare misure di riduzione delle emissioni, tenendo conto della necessità di salvaguardare le esigenze di sviluppo dei paesi più poveri. A livello europeo un'importante decisione è quella presa dalla UE nel marzo scorso che prevede misure vincolanti per gli Stati membri al 2020, per la riduzione delle emissioni di CO₂. Alla fine di giugno la Commissione ha predisposto un Libro Verde su "L'adattamento ai cambiamenti climatici in Europa - quali possibilità di intervento per l'UE" in cui vengono illustrate le strategie comunitarie di adattamento e mitigazione per affrontare efficacemente l'impatto dei cambiamenti climatici.

Anche in Italia si assiste ad una crescente attenzione al fenomeno. Sia la Camera che il Senato hanno approvato di recente due relazioni che affrontavano le tematiche relative ai cambiamenti climatici, approfondendo gli aspetti scientifici, suggerendo proposte e strumenti di intervento. In particolare la Commissione Ambiente della Camera chiedeva al Governo di elaborare il Documento di Programmazione Economica e Finanziaria tenendo conto di ogni impatto di carattere politico-economico collegato ai cambiamenti climatici. Effettivamente con la risoluzione approvata dal Senato alla fine di luglio, il Governo è impegnato a realizzare gli interventi applicativi del Protocollo di Kyoto attraverso una specifica sezione del DPEF, a destinare specifiche risorse a questo scopo, a individuare strumenti di incentivazione fiscale per interventi di carattere ambientale.

Un importante appuntamento per affrontare in modo ampio e approfondito i temi dei cambiamenti climatici è rappresentato dalla Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici del 12-13 settembre a Roma presso la FAO, promossa dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare, di cui diamo informazione in una scheda specifica. Coordinatore della Conferenza è Vincenzo Ferrara, climatologo dell'ENEA e per quindici anni Focal Point nazionale per l'Italia dell'IPCC. Di Ferrara ospitiamo un ampio articolo che fornisce un quadro aggiornato dello stato di avanzamento delle conoscenze ed un'analisi delle strategie di adattamento. Nel contempo presentiamo un'intervista a Rajendra K. Pachauri, presidente dell'IPCC, su numerosi aspetti scientifici, economici e politici connessi con i cambiamenti climatici. Intendiamo in questo modo fornire un utile contributo alla conoscenza del tema e alla definizione delle strategie da approntare nel nostro Paese.

Il Direttore Esecutivo
Flavio Giovanni Conti

editoriale

primo piano

4

CAMBIAMENTI CLIMATICI E STRATEGIE DI ADATTAMENTO

CLIMATE CHANGE AND ADAPTATION STRATEGIES

Vincenzo Ferrara



22

INTERVISTA A RAJENDRA K. PACHAURI

INTERVIEW WITH RAJENDRA K. PACHAURI

A cura di Alida La Croce



l'intervista

26

VEICOLI IBRIDI: TECNOLOGIE E PROSPETTIVE DI SVILUPPO

HYBRID VEHICLES: TECHNOLOGY AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Giovanni Pedè, Ennio Rossi

40

PRODUZIONE DI IDROGENO DALL'ACQUA MEDIANTE PROCESSI TERMOCHIMICI

*PRODUCING HYDROGEN FROM WATER
VIA THERMOCHEMICAL PROCESSES*

Michela Lanchi, Salvatore Sau, Pietro Tarquini,
Francesca Varsano, Mauro Vignolini

54

BRACHITERAPIA DERMATOLOGICA PER LA CURA DEI CARCINOMI DELLA PELLE

*DERMATOLOGICAL BRACHYTHERAPY
FOR THE TREATMENT OF SKIN CANCER*

Antioco Franco Sedda, Gabriele Rossi, Cesidio Cipriani



riflettore su



studi & ricerche



62

NANOCOMPOSITI POLIMERO-SILICATI LAMELLARI: PREPARAZIONE ED APPLICAZIONI

*LAYERED POLYMER-SILICATE NANOCOMPOSITES:
PREPARATION AND APPLICATIONS*

Massimo Schwarz, Carmela Borriello, Antonella De Maria

cronache



78

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

- | | |
|---------------------|--|
| dal Mondo | <ul style="list-style-type: none"> • Mitigazione dei cambiamenti climatici 78 • USA e UE per il dopo KYOTO 81 |
| dall'Unione Europea | <ul style="list-style-type: none"> • Energia e ambiente: la situazione dei nuovi Paesi membri 82 • Termovalorizzazione in crescita 82 • Biodiesel dalle alghe 83 • Programma di ricerca marina in Irlanda 83 |
| dall'Italia | <ul style="list-style-type: none"> • Politiche per la crescita sostenibile 84 • Indagine del Senato sul clima 86 |
| dall'ENEA | <ul style="list-style-type: none"> • Donne in luce, donne in ombra 87 • Graduatorie di concorsi ENEA 87 |
| Incontri | <ul style="list-style-type: none"> • Premio "Giulio Natta" 89 • Conferenza & esposizione europea sulle biomasse 89 • Notte europea della ricerca 2007 90 • Docet: Certificazione energetica degli edifici 90 |
| Letture | <ul style="list-style-type: none"> • Clima: istruzioni per l'uso 91 • State of the World 2007 92 |
| Indice 2006 | 93 |



Cambiamenti climatici e strategie di adattamento

Vincenzo Ferrara

L'approfondimento degli aspetti scientifici dei cambiamenti climatici è indispensabile per definire le relative strategie di mitigazione e adattamento secondo i principi di responsabilità ed equità



Gli aspetti scientifici dei cambiamenti climatici

Gli aspetti scientifici si possono dividere in due parti:

- le conoscenze che derivano dalle osservazioni (al suolo ed in quota tramite satelliti) e le misure o le analisi sperimentali di parametri e processi climatici; conoscenze che riguardano l'andamento passato e attuale del clima globale;
- le conoscenze che derivano da modelli matematici, da simulazioni numeriche e da altre metodologie di valutazione tramite grandi calcolatori. Conoscenze che riguardano soprattutto la possibile evoluzione futura del clima in un arco di tempo secolare ed oltre e nello spazio, a scala globale, continentale e regionale.

Conoscenze che derivano dalle osservazioni sperimentali

L'aumento non naturale dei gas serra atmosferici

Le concentrazioni atmosferiche attuali di anidride carbonica (380 ppm) e degli

Climate change and adaptation strategies

Further research on the scientific aspects of climate change is essential to define mitigation and adaptation strategies according to the principles of responsibility and equity



altri gas serra sono le più alte mai verificatesi negli ultimi 650 mila anni durante i quali il massimo valore di anidride carbonica atmosferica si era sempre mantenuto inferiore a 290 ppm. L'aumento dell'anidride carbonica atmosferica, passata negli ultimi 200 anni circa da 280 a 380 ppm con un incremento di oltre 35%, è causato dallo squilibrio complessivo tra emissioni globali di anidride carbonica provenienti dalle attività umane ed assorbimenti globali naturali da parte del suolo, degli oceani e degli ecosistemi terrestri e marini. Le capacità "naturali" globali (denominati "sinks" globali) sono attualmente in grado di assorbire meno della metà delle emissioni antropogeniche globali, il resto si accumula in atmosfera e vi permane per periodi medi che per l'anidride carbonica si aggirano intorno ai 200 anni. Le capacità naturali globali di assorbimento erano maggiori nel passato, e negli anni più recenti stanno via via diminuendo con l'aumentare progressivo della temperatura media del pianeta.

Secondo l'IPCC le conclusioni sono le seguenti: a partire dal 1750 sono state emesse in atmosfera 384 miliardi di tonnellate di carbonio equivalente (circa 1.400 miliardi di tonnellate di CO₂) di cui il 57% è stato assorbito dagli oceani e dagli ecosistemi vegetali terrestri, mentre il rimanente 43% si è accumulato in atmosfera. Tale accumulo ha prodotto un incremento di 100 ppm delle concentrazioni atmosferiche di anidride carbonica. Di conseguenza, l'aumento dei gas serra in atmosfera non è naturale, ma deriva dalle emissioni di combustibili fossili, dall'agricoltura e dai cambiamenti di uso del suolo.

La responsabilità delle attività umane

Rispetto all'effetto serra naturale (pari a circa 180 watt/m²), le attività umane hanno introdotto un effetto serra ag-

giuntivo così composto: un effetto riscaldante causato dai gas serra di origine antropica pari a circa +3,0 watt/m²; un effetto riscaldante naturale dovuto all'attività solare pari a circa +0,12 watt/m² ed, infine, un effetto raffreddante provocato da polveri sottili ed aerosol pari circa a -1,6 watt/m². Il bilancio complessivo netto è pertanto pari ad un incremento dell'effetto serra naturale di circa 1,6 watt/m². Poiché su questo bilancio ha influito un effetto raffreddante degli aerosol, il riscaldamento climatico dovuto alle attività umane, senza tale attenuazione, sarebbe stato addirittura doppio. Le conclusioni di IPCC sono le seguenti: il riscaldamento climatico in atto, e che parte dal 1750, è causato quasi totalmente dalle attività umane (il livello scientifico di attendibilità di questi dati è superiore al 90%). Le cause naturali del riscaldamento climatico sono del tutto trascurabili, sia quelle di origine solare (macchie solari) pari al 4% delle cause di origine antropica sia quelle di origine astronomica praticamente inesistenti dal 1750 ad oggi (agiscono infatti su archi di tempo superiore ai 20 mila anni). Altrettanto trascurabili (inferiori al 4%) sono altri effetti naturali, quali gli eventuali effetti di riscaldamento derivanti dalla attività vulcanica (anzi gli effetti sono per lo più raffreddanti) e gli effetti legati alle variazioni della crosta terrestre.

Le misure sperimentali

L'effetto serra aggiuntivo causato dalle attività umane è stato osservato e misurato nei numerosi parametri che sono gli indicatori sperimentali dello stato del clima e della sua evoluzione, quali ad esempio:

- la temperatura media del pianeta, aumentata di 0,74°C nell'ultimo secolo, ma con tassi di incremento via via crescenti; mentre nei decenni precedenti al 1950 aumentava ad un tasso medio

inferiore a 0,06°C per decennio, negli ultimi 50 anni è, invece, aumentata al tasso di 0,13°C per decennio e più recentemente ha raggiunto il tasso di circa 0,25°C per decennio;

- le precipitazioni, diminuite alle basse latitudini ed aumentate alle alte latitudini, cambiando anche le loro caratteristiche di intensità e durata;
- eventi estremi la cui intensificazione riguarda soprattutto i cicloni tropicali (uragani e tifoni), le tempeste extratropicali (cicloni extratropicali e correnti aeree troposferiche), le alluvioni e le siccità, le ondate di caldo e di freddo;
- la temperatura degli oceani aumentata fino a circa 3.000 metri di profondità, molto più sensibilmente in superficie e molto meno negli strati più profondi; molto più sensibilmente nell'oceano Indiano settentrionale, nel Pacifico occidentale e nel nord Atlantico, molto meno in altri oceani;
- Il livello del mare il cui ritmo di innalzamento medio è passato da 1,8 mm/anno che si verificava nei decenni precedenti al 1990, ad un ritmo di 3,1 mm/anno negli ultimi 15 anni;
- l'acidificazione degli oceani, aumentata in media di 0,1 punti di pH (con conseguenti problemi di corrosione del carbonato di calcio di cui sono costituiti i coralli e le barriere coralline);
- i ghiacci polari la cui diminuzione è molto marcata al Polo Nord (perdita di estensione pari al 2,7% per decennio con punte dell'1% per anno nel periodo estivo) ed in Groenlandia (perdite superiori a 220 km cubici per anno);
- i ghiacci delle medie latitudini che, in alcuni casi (come nelle Alpi e nelle Ande), hanno raggiunto livelli del 5% per decennio.

La conclusione di IPCC è che il riscaldamento climatico, misurato dalle osservazioni sperimentali di temperatura, precipitazio-

ni, fusione dei ghiacci, livello del mare ecc., è al 95% inequivocabilmente collegato all'aumento dell'effetto serra naturale causato dalle attività umane ed all'aumento delle concentrazioni atmosferiche di gas serra.

Conoscenze che derivano da modelli climatici e simulazioni numeriche

Queste conoscenze riguardano l'evoluzione futura del clima. Poiché esse non derivano da dati, misure ed osservazioni, il loro livello di affidabilità dipende molto dai modelli utilizzati, dalle ipotesi su cui si basano i modelli e dal tipo e semplificazione di calcolo che tali modelli necessariamente adottano per poter girare su grossi calcolatori. Inoltre, tali modelli utilizzano una serie di possibili scenari di emissioni globali di gas serra in relazione ad ipotesi di sviluppo socio-economico mondiale e di uso di combustibili fossili. Di conseguenza, sulla base di tali modelli non è possibile effettuare previsioni climatiche, ma solo possibili "scenari" di evoluzione futura del clima.

L'IPCC nel confermare gli scenari già considerati nel suo precedente Rapporto del 2001, analizza ciascuno scenario sia in relazione agli errori che possono essere stati commessi sia in termini di affidabilità delle valutazioni effettuate, stabilendo le diverse probabilità che tali scenari possano effettivamente verificarsi, ed esaminando, per quelli a bassa probabilità, i rischi di cambiamenti improvvisi del clima qualora il sistema climatico si destabilizzasse a seguito di processi non lineari. Gli elementi principali di questa analisi possono così sintetizzarsi.

Le tendenze della temperatura futura del pianeta

La temperatura media globale al 2100 potrà aumentare da un minimo di 1,1°C ad un massimo di 6,4°C. Negli scenari mini-



mali, che vengono considerati piuttosto improbabili (perché la tendenza della situazione attuale non sembra rispecchiare le ipotesi formulate), l'aumento di temperatura media globale potrà situarsi, alla fine di questo secolo, attorno ai 2°C e più precisamente nell'intervallo compreso tra 1,5 e 2,8°C. Negli scenari massimali l'aumento della temperatura media globale raggiungerebbe e supererebbe i 5°C e comunque in un intervallo compreso tra 4,5°C e 6,4°C. Ma anche questi scenari sono giudicati poco probabili, se non del tutto inaffidabili, per motivi legati alla fisica dei processi climatici, dal momento che con velocità di aumento della temperatura così elevate è possibile l'insorgenza di fenomeni non lineari o di destabilizzazione del sistema climatico, che determinerebbero una sostanziale imprevedibilità delle condizioni future del clima (con possibilità o meno di catastrofi climatiche).

Di conseguenza, l'ipotesi più probabile, secondo IPCC, appare quella secondo cui l'aumento della temperatura media globale sarà compreso fra 0,6 e 0,7°C al 2030 anni e raggiungerà circa 3°C o poco più nel 2100, e comunque una temperatura inferiore a 4,5°C. Nel caso ipotetico di tassi di aumento della temperatura media globale superiore a 4,5°C per secolo, il rischio di destabilizzazione del sistema climatico è molto alto e le conseguenze potrebbero essere opposte a quelle ragionevolmente prevedibili (ad esempio glaciazione di parte dell'emisfero nord a causa dell'interruzione della corrente del Golfo).

Le tendenze dell'innalzamento futuro del livello del mare

Al 2100 il livello del mare aumenterà, per dilatazione termica, tra 19 e 58 cm e più probabilmente tra i 28 ed i 43 cm, e non tra i 15 ed i 90 cm circa previsti nel precedente Rapporto IPCC (in cui era incluso anche il contributo della fusione dei

ghiacci). In questi scenari, infatti, non sono stati inclusi i processi di isostasia e quelli dinamici di fusione non lineare dei ghiacci artici ed antartici. Va osservato che se la velocità del riscaldamento climatico è molto elevata (cioè superiore ai 4,5°C per secolo degli scenari massimali), i ghiacci della Groenlandia e quelli della parte occidentale dell'Antartide, potrebbero subire accelerati ed improvvisi processi di fusione o addirittura collassare. In tal caso, l'innalzamento del livello del mare, non sarebbe più quello precedente, ma potrebbe arrivare perfino a 7 metri. L'IPCC rileva inoltre che, se la fusione dei ghiacci della Groenlandia fosse molto rapida con immissione altrettanto rapida di rilevanti masse d'acqua dolce nel nord Atlantico, l'interruzione della corrente del Golfo diventerebbe molto probabile, anche se per il periodo successivo al 2100.

Le principali conseguenze associate

Con questi scenari di possibile evoluzione futura del clima, si può desumere che la calotta polare artica (quella formata dai ghiacci galleggianti) potrebbe, nel 2100, scomparire durante i mesi estivi o ridursi del 90% rispetto alla estensione attuale. Drastiche riduzioni si avrebbero anche per i ghiacciai delle catene montuose poste alle medie e basse latitudini. Ma, si può anche desumere che gli estremi climatici, quali le ondate di calore, le precipitazioni intense ed alluvionali delle medie ed alte latitudini, prolungati periodi di siccità alle medie e basse latitudini, diventeranno sempre più frequenti ed intensi. Anche gli estremi climatici connessi con eventi, quali cicloni tropicali, uragani e tifoni, e con il fenomeno di El Niño, tenderanno a diventare molto più intensi, anche se la frequenza di tali eventi non dovrebbe subire un sostanziale aumento.

Gli aspetti strategici internazionali

La comunità internazionale riunita nelle Nazioni Unite ha affrontato il problema dei cambiamenti climatici con una Convenzione Internazionale sottoscritta e ratificata da 189 paesi. Si tratta della Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC).

La UNFCCC stabilisce il quadro di riferimento dei principi, degli obiettivi, delle strategie e degli impegni generali che i Paesi delle Nazioni Unite si assumono in materia di protezione del clima e di prevenzione dei rischi di cambiamenti climatici generati dalle attività umane. Dal momento che la UNFCCC è un "accordo quadro" l'attuazione operativa degli impegni, le modalità di attuazione, la gestione delle varie attività da svolgere ed i controlli vengono demandati a protocolli o altri atti aggiuntivi da negoziarsi successivamente. Il primo di questi atti è stato il Protocollo di Kyoto.

La UNFCCC, non è fondata sulle conoscenze scientifiche via via acquisite in materia di cambiamenti climatici, ma è impostata sul concetto e sulla filosofia di prevenzione di un rischio: il rischio di un cambiamento climatico, generato dalle attività umane, un rischio che non è zero e certamente non si può dimostrare che sia nullo. Dunque, è esattamente la stessa filosofia che normalmente viene adottata per prevenire catastrofi naturali o per organizzare la protezione civile. Trattandosi di un "rischio globale" il problema va affrontato in modo globale da tutti i paesi delle Nazioni Unite.

Tuttavia, la UNFCCC non usa la parola "prevenzione" perché il concetto di prevenzione fa riferimento ad un rischio preciso e statisticamente determinato in termini di distribuzione delle probabilità di un certo evento calamitoso in grado di apportare certi tipi di danni. La UNFCCC usa, più correttamente, il termine "pre-

cauzione" perché il rischio climatico, allo stato delle attuali conoscenze scientifiche, non è quantificabile in modo certo, come si fa nelle normali analisi di rischio. Il fatto che il rischio clima non sia quantificabile, però non può giustificare l'inazione o l'assenza di iniziative, o per dirla con le parole della UNFCCC: "l'incertezza delle conoscenze scientifiche non può essere usata come scusa per posticipare azioni ed interventi quando esiste comunque la possibilità di un danno irreversibile sul breve, ma soprattutto sul lungo periodo". Piuttosto che non fare nulla, è meglio predisporre una serie di contromisure cautelative.

L'impostazione delle strategie internazionali

L'impostazione complessiva (a livello globale) del rischio clima, in termini di precauzione diventa la seguente: se il problema dei cambiamenti climatici, generato dalle attività umane, rappresenta un rischio aggiuntivo (anche se non scientificamente determinabile) per lo sviluppo e il benessere dell'umanità, questo rischio aggiuntivo va affrontato sia a monte del rischio e cioè sul versante delle cause di origine antropica che aumentano il rischio dei cambiamenti del clima, sia a valle del rischio, e cioè sul versante degli effetti e delle conseguenze negative che si potrebbero manifestare qualora il cambiamento climatico avvenisse.

- Le azioni a monte fanno parte della cosiddetta *strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici* (denominata più semplicemente "mitigazione"), e hanno l'obiettivo di eliminare, o quanto meno rallentare, i cambiamenti climatici dovuti alle attività antropiche, e in particolare eliminare la principale causa costituita dall'accumulo dei gas serra in atmosfera provenienti dalle attività umane.



- Le azioni a valle fanno parte della cosiddetta *strategia di adattamento ai cambiamenti climatici* (denominata più semplicemente "adattamento"), e hanno l'obiettivo di predisporre piani, programmi, azioni e misure tali da minimizzare le conseguenze negative e i danni causati dai possibili, o probabili, cambiamenti climatici, cioè tali sia da ridurre la vulnerabilità territoriale e quella socio-economica dei cambiamenti del clima, sia da sfruttare le nuove opportunità di sviluppo socio-economico che dovessero sorgere a causa dei cambiamenti del clima.

Queste strategie, però devono essere finalizzate al raggiungimento di un obiettivo che non è l'azzeramento del rischio clima, ma la sua compatibilità con lo sviluppo socio-economico mondiale e la protezione dell'ambiente globale. L'obiettivo della precauzione e delle relative strategie di mitigazione e di adattamento è la stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche dei gas serra ad un livello tale da prevenire pericolose interferenze delle attività umane con il sistema climatico. Questo livello di stabilizzazione deve essere raggiunto in un periodo di tempo tale da permettere agli ecosistemi di adattarsi in modo naturale ai cambiamenti del clima, tale da assicurare che la produzione alimentare per la popolazione mondiale non venga minacciata e tale, infine, da consentire che lo sviluppo socio-economico di tutti i popoli possa procedere in modo sostenibile.

Una siffatta formulazione dell'obiettivo, affinché non rimanga una semplice enunciazione di principio, implica la scelta di valori e parametri cruciali, che non sono solo scientifici, ma anche e soprattutto di accettabilità politica e sociale del rischio clima. In particolare implica:

1) l'identificazione e la definizione quantitativa del livello di stabilizzazione delle

concentrazioni atmosferiche dei gas serra da non superare per evitare l'innesco di un "pericolo" per l'umanità causato dall'interferenza delle attività umane sugli equilibri naturali del sistema climatico;

2) le condizioni necessarie e i vincoli affinché i governi dei vari paesi possano, in un periodo di tempo adeguato, concorrere coordinatamente al raggiungimento di tale livello di stabilizzazione;

3) la definizione di quale sia questo periodo di tempo adeguato per permettere agli ecosistemi di adattarsi naturalmente, per assicurare che la produzione alimentare non venga minacciata e per consentire che lo sviluppo socio-economico possa procedere in modo sostenibile.

La responsabilità nell'attuazione delle strategie

La individuazione generale delle azioni da svolgere per ridurre le emissioni, la suddivisione ed il coordinamento di tali azioni e tutta la programmazione di chi doveva fare che cosa ed in quali tempi (tutte cose che poi verranno dettagliate operativamente nel Protocollo di Kyoto), è stata affrontata dalle Nazioni Unite sulla base del principio di responsabilità o meglio "della responsabilità comune ma differenziata". Il principio di responsabilità, che guida la programmazione delle azioni, stabilisce, in pratica, che tutti i paesi della Terra, a causa delle loro emissioni in atmosfera, sono responsabili delle conseguenze dirette sul clima globale e sulle conseguenze indirette sull'ambiente globale derivanti dagli impatti dei cambiamenti del clima. Tuttavia, tale responsabilità non è uguale per tutti i paesi. La responsabilità è, appunto, "differenziata", in altre parole è diversa a seconda del contributo che ciascun paese ha dato storicamente all'inquinamento globale di gas ad effetto serra, a seconda delle condizioni di sviluppo socio-economico ed industriale e

delle capacità di perturbare l'ambiente globale e, infine, a seconda delle capacità di intervenire per porre rimedio alle perturbazioni indotte sul sistema climatico.

Questo principio implica che i paesi industrializzati, che sono i maggiori responsabili:

- devono impegnarsi di più dei paesi in via di sviluppo per disinquinare il pianeta, e devono aiutare i paesi poveri affinché abbiano un percorso di sviluppo meno inquinante di quello che hanno avuto nel passato i paesi industrializzati;
- devono essere i primi, rispetto ai paesi in via di sviluppo, ad assumere ed attuare impegni ed azioni, ma devono anche assumere la leadership mondiale nella protezione del clima contro le interferenze antropogeniche;
- devono dimostrare di aver ottenuto risultati significativi nel disinquinare il pianeta, prima di chiedere l'assunzione di impegni e l'attuazione di analoghe azioni ai paesi in via di sviluppo e ai paesi più poveri.

Proprio in conformità a questo principio è stata programmata e resa operativa la *strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici*: sono stati individuati e suddivisi gli impegni prioritari fra paesi sviluppati ed in via di sviluppo e sono state individuate due fasi di attuazione. Nella prima fase, che termina il 2012, i soli paesi industrializzati si impegnano su obiettivi quantificati di riduzione delle emissioni ed attuano tali impegni (e di questo si occupa appunto il Protocollo di Kyoto). Nella seconda fase che comincia dopo il 2012, sia i paesi industrializzati, sia quelli in via di sviluppo, si impegneranno congiuntamente su obiettivi quantificati comuni e attueranno di comune accordo i loro impegni (e di questo si occuperà il processo negoziale del post Kyoto).

I nodi più critici

Ci sono due osservazioni da fare. Innanzitutto, con il Protocollo di Kyoto è stata stabilita una riduzione (che è piuttosto simbolica) del 5,2% delle emissioni di gas serra dei paesi industrializzati rispetto alle emissioni che avevano nel 1990, ma non è stato definito il livello di stabilizzazione delle concentrazioni atmosferiche di gas serra come richiesto dall'obiettivo generale della UNFCCC. L'identificazione del livello di stabilizzazione è invece fondamentale per stabilire impegni ed azioni soprattutto a partire dal 2012 e cioè nel post Kyoto. Ma è fondamentale, non tanto per la definizione delle riduzioni delle emissioni globali di gas serra, quanto piuttosto per individuare i tempi entro i quali dovranno attuarsi tali riduzioni: se, ad esempio entro il 2050, come chiede l'Unione Europea che ha proposto di stabilizzare le concentrazioni di anidride carbonica a 500 ppm, oppure entro un'altra data successiva al 2050, qualora il livello di stabilizzazione concordato sarà superiore a quello proposto dall'Unione Europea.

La seconda osservazione riguarda la responsabilità nei confronti dei cambiamenti climatici causati dalle attività umane. La responsabilità è stata suddivisa dalle Nazioni Unite solo tra paesi industrializzati (paesi dell'Annesso I) e paesi in via di sviluppo (paesi dell'Annesso II). In realtà, la responsabilità non può essere la stessa né nell'ambito dei paesi industrializzati (si pensi alle differenze abissali che ci sono fra gli Stati Uniti ed uno qualsiasi dei paesi dell'Est europeo), né nell'ambito dei paesi in via di sviluppo (si pensi alle differenze abissali che vi sono fra Cina e uno qualsiasi dei paesi più poveri dell'Africa). È evidente che il principio di responsabilità è il riferimento necessario, ma non sufficiente. Un'effettiva ed efficace attuazione di impegni e azioni richiede, infatti, che la responsabilità sia opportunamente modu-



lata in relazione alle effettive circostanze nazionali.

*L'equità (non definita)
nella attuazione delle strategie*

Quando nel 1990, le Nazioni Unite decisero di avviare un processo negoziale per mettere a punto un apposito trattato internazionale sul problema dei cambiamenti climatici, vi era un ampio dibattito sullo strumento da seguire. Due erano i punti di vista. Alcuni paesi ritenevano opportuno procedere con una convenzione quadro sul "diritto all'atmosfera" che comprendesse tutti i diritti dell'atmosfera (come l'inquinamento atmosferico, la protezione della fascia di ozono, i cambiamenti climatici ecc.) in analogia con la convenzione sul "diritto del mare" approvata a Montego Bay (Giamaica) nel 1982. Altri paesi, invece, ritenevano opportuno procedere con una specifica convenzione quadro sui cambiamenti climatici, dal momento che il problema del clima con tutte le sue implicazioni nei settori dello sviluppo economico (produzione ed uso dell'energia, ambiente, trasporti, economia ecc.) era un problema di per sé già abbastanza vasto e complesso, da meritare un trattato *ad hoc*.

L'Assemblea Generale delle Nazioni Unite scelse questa seconda ipotesi, che appariva una soluzione più rapida e meno complessa e, con la risoluzione 45/212 del 1990, dette il via ai negoziati internazionali. Questa decisione, che allora sembrava la più pragmatica, ha mostrato recentemente alcuni limiti perché, dopo le controversie sorte per l'attuazione del Protocollo di Kyoto, ma soprattutto per la fase del post Kyoto, appare evidente la necessità di stabilire un quadro di riferimento per l'utilizzazione di un bene comune dell'umanità, qual è l'atmosfera, così come era successo per

il mare, altro bene comune dell'umanità, per il quale c'è il trattato specifico entrato in vigore nel 1994 e che comprende anche gli accordi sulle acque internazionali.

L'unico riferimento che traspare nella UNFCCC, ai fini di fornire un quadro di riferimento per la regolamentazione delle attività di attuazione del Protocollo di Kyoto e per la fase successiva del post Kyoto, è il principio di equità. Abbiamo usato la parola "traspare", perché il principio di equità non è né enunciato e né altrimenti definito. Sono invece citati, senza peraltro definirli, alcuni aspetti importanti, ma non fondamentali, dell'equità ed in particolare: l'equità partecipativa, l'equità operativa e l'equità intergenerazionale.

Non essendo chiaro, nella UNFCCC, in che cosa consista l'equità, salvo alcuni aspetti, ciascun paese interpreta il problema dell'equità secondo le proprie priorità ed i propri interessi. La battaglia più grossa, sull'equità, è stata condotta soprattutto da parte dell'India e di alcuni paesi in via di sviluppo affinché nell'attuazione degli impegni di riduzione delle emissioni si faccia riferimento, per tutti i popoli, ad uguali "diritti di emissione pro capite", rispetto ai quali conteggiare riduzioni o aumenti di emissione.

Le proposte dei paesi industrializzati tendono, invece, a definire l'equità nella riduzione delle emissioni in relazione alla intensità energetica (rapporto tra consumi energetici e prodotto nazionale lordo) o alla intensità carbonica (rapporto tra emissioni di anidride carbonica e consumi energetici da combustibili fossili).

I paesi produttori di combustibili fossili rifiutano, in linea di principio, di riferire l'equità in base alla emissione di gas serra perché condiziona le vendite dei loro prodotti e lo sviluppo economico delle loro economie basate appunto sul commercio di combustibili fossili.

La strategia di adattamento ai cambiamenti del clima

La strategia di adattamento ai cambiamenti del clima, cioè la strategia per ridurre le conseguenze negative o i danni causati dagli effetti dei cambiamenti climatici, non è alternativa alla strategia di mitigazione, ma è complementare ad essa e integrativa anche sotto il profilo dei costi economici ed ambientali. Con una robusta strategia di mitigazione, ovvero con un forte impegno internazionale di riduzione delle emissioni antropogeniche di gas serra, si riduce fortemente il rischio di cambiamento climatico. Di conseguenza si riduce anche la possibilità che le conseguenze e i danni dei cambiamenti climatici siano di entità rilevante e, quindi, anche le esigenze di adattamento ai cambiamenti del clima diventano molto minori. Viceversa, se la strategia di mitigazione fosse poco incisiva (scarsa riduzione delle emissioni di gas serra), allora il rischio di conseguenze negative e di danni derivanti dai cambiamenti del clima sarebbe molto più elevato. L'adattamento ai cambiamenti del clima, in questo caso, diventerebbe una necessità prioritaria e ineludibile, la sola alternativa per convivere in un mondo con caratteristiche climatiche e ambientali diverse da quelle attuali. Tutto ciò si sintetizza con la frase: quanto maggiore sarà l'impegno per mitigare i cambiamenti del clima, tanto minori saranno le esigenze di adattamento e viceversa. Anche se ciò appare del tutto logico, nella realtà non è proprio così e non sarà così, perché i cambiamenti del clima non sono identici per ogni area geografica e in ogni angolo del nostro pianeta, né tanto meno gli impatti e le conseguenze dei cambiamenti del clima, sia sul breve che sul lungo periodo, sia quelli lineari che quelli non lineari. Ci sarà chi avrà danni maggiori e chi minori e perfino chi ne avrà dei benefici.

I paesi che dovranno spendere di più per mitigare non sono generalmente gli stessi paesi che dovranno spendere di più per adattarsi (si pensi ai paesi più poveri della fascia subtropicale che subiranno i maggiori eventi estremi come tifoni ed uragani, innalzamento del livello del mare ecc.).

E allora perché un certo paese dovrebbe spendere di più per mitigare i cambiamenti del clima ovvero per ridurre il rischio di un cambiamento climatico, quando potrebbe spendere molto meno per adattarsi ai futuri cambiamenti del clima, o addirittura non spendere nulla perché in realtà il cambiamento climatico gli porta dei benefici (si pensi al Canada o alla Siberia)?

Se la logica fosse soltanto di bilancio economico, allora perché certi paesi dovrebbero spendere di più per le misure di mitigazione (ridurre le emissioni) se possono spendere di meno per le misure di adattamento? In una logica di questo tipo, non vi è dubbio che sorgessero conflittualità e contenziosi internazionali da parte dei paesi che contrapporranno un'altra logica.

Il problema dell'equità nella suddivisione dei costi e dei benefici fra i vari paesi, così come fra le generazioni attuali e quelle future, diventa, insomma, un problema ancora più acuto quando si affronta la strategia di adattamento.

La necessità di una strategia di adattamento è già attuale

Benché le azioni per la mitigazione dei cambiamenti climatici siano fondamentali e assolutamente prioritarie, non si riuscirà comunque a evitare che i cambiamenti climatici già innescati procedano ulteriormente anche nel caso, del tutto teorico, che diventassero subito operative misure drastiche di taglio delle emissioni antropogeniche di gas serra.



Accanto alla strategia di mitigazione, certamente prioritaria per rallentare il più possibile i cambiamenti del clima, è quindi necessario dare il via anche a una strategia che porti il mondo ad adattarsi, senza troppi danni, a una situazione futura diversa da quella attuale. Quanto diversa da quella attuale si può ipotizzare solo sulla base degli scenari di cambiamento climatico illustrati precedentemente, che tengono conto delle diverse ipotesi di sviluppo socio-economico e di emissioni di gas serra.

Ricordiamo che questi scenari presuppongono che il sistema climatico si comporti come un "sistema lineare", ma non è detto che vada in questo modo. La scienza del clima non è ancora in grado di valutare fenomeni di destabilizzazione degli equilibri climatici "non lineari", in grado di portare a improvvisi cambiamenti del clima in tutto il pianeta o in parte di esso. Pur nell'incertezza degli scenari, il clima è comunque destinato a cambiare, e dipenderà dalle scelte che faremo se cambierà poco o molto: l'adattamento ai cambiamenti del clima è quindi una necessità importante tanto quanto quella della mitigazione. L'adattamento ai cambiamenti del clima significa in sostanza la messa a punto di piani, programmi, azioni e misure tali da minimizzare conseguenze e danni causati dai possibili (anzi probabili) cambiamenti climatici, cioè tali da ridurre la vulnerabilità territoriale e quella socio-economica ai cambiamenti del clima. Ma nello stesso tempo devono anche saper cogliere e sfruttare le nuove opportunità di sviluppo socio-economico che potrebbero presentarsi a causa dei cambiamenti del clima e dei suoi effetti.

Disporre di una strategia di adattamento capace di contrastare ed eliminare con efficacia le conseguenze negative e i danni dei cambiamenti climatici diventa quindi una esigenza irrinunciabile e prioritaria, tanto più quanto la strategia di mitigazione sia debole o poco efficace.

Aspettare per definire una strategia di adattamento non è saggio

Rispetto alle politiche di pianificazione e di gestione del territorio (e di quelle che riguardano più direttamente i settori produttivi come le politiche agricole, industriali, dei trasporti o di uso delle risorse naturali) i decisori politici, o almeno la maggior parte di essi, non hanno ancora maturato una sufficiente consapevolezza dei problemi dei cambiamenti climatici, e di conseguenza non hanno ancora un'idea chiara dei problemi di adattamento e delle strategie di adeguamento per far fronte alle inevitabili conseguenze dei cambiamenti climatici, molti dei quali sono già in atto.

Solo nei paesi in via di sviluppo, e in quelli molto vulnerabili alle condizioni climatiche, si esprime un'alta sensibilità al problema.

Ma, anche se le conseguenze dei cambiamenti climatici non appaiono nei paesi industrializzati così gravi da influire sui mercati internazionali delle merci e dei prodotti, non sembra saggio né lungimirante far finta che non esista un rischio di cambiamento del clima, né tanto meno ignorare i rischi di danni derivanti dai cambiamenti del clima.

Questo purtroppo non è un atteggiamento inusuale nel campo della prevenzione dei rischi e della gestione del territorio, come ci insegna la storia dei numerosi disastri legati al rischio sismico o idrogeologico. Si tratta di un atteggiamento cosiddetto "reattivo": significa che le misure di prevenzione e di minimizzazione dei danni si predispongono solo dopo che si sono verificate catastrofi con danni ingenti, sia economici che in perdite di vite umane. Ed è l'atteggiamento più utilizzato dai decisori politici.

Non fare nulla in termini di prevenzione dei rischi di danno, ma solo in termini "reattivi" ovvero aspettare che i cambiamenti climatici si manifestino in modo più



marcato e che i danni diventino più devastanti o catastrofici, può di sicuro diminuire i costi delle politiche territoriali e di sviluppo delle attività economiche sul breve periodo, ma potrebbe invece aumentarli parecchio sul lungo periodo; anzi, potrebbe condizionare in modo non più modificabile il futuro dello sviluppo socio-economico.

In che cosa consiste l'adattamento

L'adattamento è un'azione di modifica che un dato sistema (ambientale o socio-economico) può effettuare per fronteggiare l'impatto o le conseguenze di una perturbazione e riequilibrare il sistema alle condizioni mutate o ai loro effetti: in pratica si tratta di aggiustamenti che, da una parte tendono a minimizzare le conseguenze negative della perturbazione introdotta e, dall'altra cercano di sfruttare le opportunità positive di tale perturbazione. Nei sistemi ambientali, in assenza di intervento umano questi aggiustamenti sono per lo più di tipo omeostatico.

Nel contesto dei cambiamenti climatici, con il termine "adattamento" si fa riferimento sia al processo con cui si giunge alla situazione finale dell'adattamento, sia alle condizioni che consentono di adattarsi. Il termine adattamento ha infatti diversi significati a seconda del contesto nel quale è inserito: ad esempio, in ecologia l'adattamento si riferisce ai cambiamenti attraverso i quali un organismo, una specie o un ecosistema, si adegua nel miglior modo possibile alle condizioni dell'ambiente nel quale vive o da cui dipende. In campo socio-economico invece l'adattamento si riferisce ai processi di ottimizzazione che le attività produttive effettuano, in fase di produzione e nei prodotti, per adeguarsi ai sistemi economici e di mercato.

In ogni caso, sia che si parli di un processo di adeguamento sia che si parli di condizioni per l'adeguamento, l'adattamento

implica un cambiamento di qualcosa in qualche altra cosa. La causa che deve stimolare l'adattamento non è il cambiamento climatico in quanto tale, ma l'impatto negativo del cambiamento climatico su un sistema umano, un sistema ambientale o un sistema socio-economico. Non sempre, infatti, un cambiamento del clima implica la necessità di adattamento, ma solo nel caso in cui quel cambiamento abbia provocato conseguenze tali da modificare, e perfino rompere, le condizioni di equilibrio o di ottimizzazione complessiva che il sistema aveva raggiunto in precedenza.

Aumentare le capacità di adattamento

L'adattamento è un processo che nei sistemi ecologici avviene in modo naturale, anche se in tempi diversi e con vincitori (le specie o gli ecosistemi che si adattano) e vinti (specie ed ecosistemi che non si adattano e soccombono).

L'essere umano, considerato come singola specie animale, ha grandi capacità di adattamento al clima e alle condizioni ambientali e territoriali, come dimostra la diffusione del genere umano su tutto il pianeta. Viceversa i sistemi umani, intesi come i sistemi socio-economici, culturali e infrastrutturali tipici di ciascun contesto territoriale, con tutti i relativi aspetti urbanistici, di agricoltura, di risorse idriche, di industrializzazione e di trasporto, sono spesso scarsamente adattabili ai cambiamenti del clima.

Se i sistemi ecologici naturali hanno la capacità di adattarsi naturalmente, i sistemi umani, che sono sistemi costruiti, non hanno la stessa capacità, e anche l'adattamento va costruito. In altre parole, gli interventi di adattamento che la società umana può effettuare risulteranno tanto più appropriati, efficaci e tempestivi quanto maggiori sono le capacità di adattamento del sistema umano. Le capacità di adattamento dei sistemi umani dipendono da:



- le capacità progettuali e di programmazione;
- le capacità scientifiche, tecnologiche e di *know how*;
- le capacità organizzative, infrastrutturali e di intervento operativo;
- l'organizzazione sociale ed economica del sistema umano;
- l'informazione e la consapevolezza dei problemi da parte della popolazione.

Le capacità di adattamento di un sistema umano dipendono, quindi, in larga misura dal livello di sviluppo di quel sistema umano (nazione, popolo o comunità). Di conseguenza, le capacità di adattamento sono maggiori per i paesi industrializzati e minori per i paesi in via di sviluppo, maggiori per i popoli ricchi e minori per quelli poveri. E in seno a uno stesso paese industrializzato, come l'Italia, le capacità di adattamento sono maggiori nelle regioni o nelle comunità dove più mature sono la cultura scientifica e tecnologica, l'organizzazione socio-economica locale, la conoscenza dei problemi e la partecipazione dei cittadini.

L'adattamento si fonda sulle capacità che i sistemi hanno di far fronte agli aspetti negativi e di modificarsi per raggiungere un equilibrio adeguato alla nuova situazione. Aumentare o favorire l'adattamento di un sistema ai cambiamenti climatici significa prima di tutto diminuirne la vulnerabilità. Il problema fondamentale per l'adattamento è, quindi, quello di capire quanto il sistema (ambientale o socio-economico) considerato sia vulnerabile ai cambiamenti del clima e quanto sensibile a tali cambiamenti. Tutto l'adattamento ruota fondamentalmente attorno al problema della vulnerabilità.

Ridurre la vulnerabilità per adattarsi

Nel linguaggio comune la parola "vulnerabilità" ha una connotazione negativa e si

riferisce più al timore che si verifichi un evento dannoso che alla reale possibilità che quell'evento possa effettivamente verificarsi. Il concetto di vulnerabilità inoltre ha senso se associato a un soggetto e a un oggetto: la vulnerabilità di una persona a una cosa o la vulnerabilità di una cosa a un'altra cosa.

Anche in ambito scientifico il termine vulnerabilità è associato a un concetto negativo che riguarda uno specifico sistema (ambientale, economico o sociale) esposto alle conseguenze (danni ambientali, economici o sociali) di un dato rischio (naturale o indotto dalle attività umane) che si manifesta in un certo periodo di tempo (attuale o futuro, definito o indefinito). Insomma la vulnerabilità deve essere descritta da quattro parametri:

- *il sistema vulnerabile*, che può essere un sistema territoriale ambientale e umano, un ecosistema naturale, uno o più gruppi di popolazione, una serie di attività economiche ecc.;
- *la causa potenziale del danno* (il rischio), generalmente un evento esterno al sistema considerato (uragano, terremoto, esplosione) che per la sue caratteristiche, o per la sua anomala intensità o durata, è in grado di produrre danni rilevanti, come perdite di vite umane, degrado dell'ambiente, perdita di biodiversità, danni economici alle attività produttive o a cose e infrastrutture;
- *l'entità del possibile danno*, che si traduce nella quantificazione del valore economico, sociale o ambientale attribuito al sistema (o a parti di esso) minacciato dall'esposizione al rischio sopradetto;
- *il periodo di tempo* entro cui tutto ciò si può verificare, che identifica quando e per quanto tempo è più probabile che si manifesti il rischio e ne consegua il danno: se si tratta di eventi estremi come gli uragani per l'area caraibica o le

trombe d'aria per l'Italia, il periodo a maggior rischio è il periodo estate-autunno; se invece si tratta di terremoti, il periodo di tempo a maggior rischio è indefinito; se si tratta di cambiamenti climatici lenti o di lungo periodo, il rischio riguarda i prossimi decenni e oltre.

Anche se la vulnerabilità deve per forza essere definita dai quattro parametri citati, non è comunque un numero matematico, né una misura che si può effettuare strumentalmente, ma è una condizione che viene descritta attraverso un certo numero di fattori o di "indici" che nel loro insieme ne definiscono le caratteristiche. A seconda di tali peculiarità, gli indici possono essere ambientali, economici o sociali, o una loro combinazione.

Gli *indici ambientali* che riguardano il clima e i suoi cambiamenti si riferiscono a temperatura, umidità, pioggia, evapotraspirazione del suolo, produttività agricola, innalzamento del livello del mare, erosione costiera ecc..

Gli *indici sociali* si riferiscono alla distribuzione della popolazione, alla definizione dei gruppi critici, agli assetti e all'organizzazione delle istituzioni, ai servizi sociali e sanitari, all'istruzione e alla formazione.

Gli *indici economici* si riferiscono alle attività produttive e finanziarie, ai prodotti, agli investimenti, al reddito delle persone fisiche e delle imprese, alle iniziative di sviluppo economico.

Nelle analisi di impatto dei cambiamenti climatici e delle loro conseguenze questi indici non sono però mai separati, perché la vulnerabilità ai cambiamenti del clima comprende sia la dimensione ambientale sia quella economica e sociale.

L'analisi della vulnerabilità

L'analisi della vulnerabilità ai fini della programmazione-gestione territoriale e

della pianificazione dello sviluppo socio-economico non è molto diversa dall'analisi della vulnerabilità ai fini della pianificazione e della gestione delle emergenze. Il confine sta nel taglio che si dà alla probabilità che un certo rischio possa verificarsi: la pianificazione e gestione delle emergenze comincia quando la probabilità è molto bassa ma l'entità del danno aspettato molto alto, cioè quando si tratta di eventi del tutto eccezionali; negli altri casi si tratta di normale ottica di prevenzione.

Prevenire i danni degli uragani nella stagione estiva e autunnale, quando è più facile che si verifichino, fa parte della normale pianificazione e gestione del territorio. Prevenire i danni di un uragano che si verifica in pieno inverno (una rarità) fa parte della pianificazione e gestione delle emergenze.

Purtroppo l'esperienza dimostra che in presenza di eventi soltanto anomali – ma non inaspettati né tanto meno eccezionali – spesso l'istituzione preposta alle emergenze deve intervenire per far fronte alle lacune di una inadeguata programmazione e gestione del territorio, se non addirittura all'assenza o grave insufficienza degli strumenti pianificatori e gestionali.

La vulnerabilità ai cambiamenti climatici

La vulnerabilità ai cambiamenti climatici riguarda il medio-lungo termine e coinvolge tutti i sistemi ambientali, economici e sociali anche se in modo diverso, con conseguenze diverse e su periodi di tempo futuri ma differenti.

Innanzitutto gli impatti dei cambiamenti climatici non si manifestano tutti nello stesso momento, non producono gli stessi effetti, né producono effetti dappertutto. Ad esempio l'aumento dei fenomeni siccitosi può portare a conseguenze diverse su tempi diversi: il degrado del suolo e danni all'agricoltura sul breve periodo, e



il rischio di desertificazione sul lungo periodo.

In secondo luogo, le conseguenze negative producono effetti differenti a livello sociale e nei diversi gruppi di popolazione. Infine, a livello economico, le conseguenze possono essere negative, ma anche positive perché non sempre le conseguenze dei cambiamenti climatici producono danni, ma possono anzi offrire nuove opportunità. Con i cambiamenti del clima alcune regioni e alcune popolazioni verranno favorite e altre danneggiate.

L'IPCC definisce la *vulnerabilità* di un sistema (ambientale o umano) ai cambiamenti del clima come "la probabilità di essere danneggiato perché non sufficientemente capace di resistere alla causa del possibile danno" (il cambiamento del clima). Tale incapacità deriva da due fattori essenziali: la sensibilità, troppo elevata rispetto alla potenziale fonte di danno, e la capacità di adattamento, troppo bassa per rendere minimi gli effetti del danno. La vulnerabilità a cui si riferisce l'IPCC riguarda soprattutto la vulnerabilità a lungo termine di qualsiasi sistema naturale, sociale ed economico, esposto a qualsiasi impatto o conseguenza negativa, derivante da qualsiasi cambiamento del clima.

La *resilienza*, invece, è la potenzialità o la possibilità che un determinato sistema ha di resistere a un impatto o a un danno, possibilità determinata dalle sue capacità di elasticità o di recupero rispetto alla causa del possibile danno: la resilienza è, quindi, l'opposto della vulnerabilità. Vulnerabilità e resilienza rappresentano, infatti, le due facce di una stessa medaglia.

Vulnerabilità e resilienza sono concetti teorici che è difficile quantificare rispetto a una unità di misura; nella pratica si ricorre a "indicatori" di vulnerabilità (o di resilienza), cioè a parametri che abbiano particolari caratteristiche, tra cui: facile misura-

bilità; alta sensibilità alle variazioni di uno stato stazionario o di equilibrio; in grado di definire in modo chiaro uno o più aspetti critici dell'elemento oggetto di vulnerabilità.

La vulnerabilità aggiuntiva indotta dai cambiamenti del clima

L'aumento della vulnerabilità ambientale e territoriale che si osserva in tutto il mondo è causato oggi da due fattori principali: da una parte è in atto un'espansione delle attività umane su aree territoriali che sono già a "rischio", come le aree costiere e fluviali a rischio inondazione; dall'altra sono in atto lenti ma costanti cambiamenti globali, di cui i cambiamenti climatici sono quelli più evidenti. Questi cambiamenti incidono non tanto sui valori medi, ma sull'estremizzazione della fluttuazioni: ciò porta a variazioni dei rischi che amplificano ancor di più la vulnerabilità.

Poiché la vulnerabilità è destinata a diventare differente da oggi, sia a causa dei cambiamenti sia per effetto dell'evoluzione delle attività umane, le maggiori criticità si manifesteranno negli ambiti territoriali e di attività umane dove più importanti saranno gli impatti climatici, come l'innalzamento del livello del mare, l'estremizzazione dei fenomeni meteorologici o la diversa disponibilità di risorse idriche tra Nord e Sud.

La vulnerabilità aggiuntiva nel processo di adattamento

Il clima influenza da sempre tutte le attività umane, non solo quelle che ne dipendono in modo diretto come le attività agricole, ma anche molte altre attività che apparentemente non hanno diretti legami con il clima, come le infrastrutture, il commercio, l'urbanizzazione ecc.. Queste attività vengono, di solito, progettate e dimensionate sul territorio con il presupposto implicito (ad esempio l'urbanizzazione) o

esplicito (ad esempio le infrastrutture) di condizioni climatiche "medie" su quel territorio, tenendo conto tutt'al più della "normale" variabilità climatica così come la si conosce dalle vicende del passato. Così facendo si assume, consapevolmente o inconsapevolmente, che il clima del futuro (o almeno per il previsto arco di vita di quella attività), permanga stazionario e invariato rispetto al passato. Se il clima cambia, ma soprattutto se cambia l'intensità e la frequenza degli eventi estremi, i rischi per la sicurezza di quelle attività non solo aumentano, ma possono aumentare in modo sproporzionato o imprevedibile.

Affrontare i maggiori rischi di danno derivanti dai cambiamenti del clima non significa organizzare una più efficace gestione delle emergenze o rafforzare le strutture e i servizi di protezione civile, ma impostare in modo radicalmente diverso dal passato i problemi di sviluppo socio-economico, inclusi i problemi della pianificazione territoriale e dell'uso delle risorse, tenendo conto del clima che cambia. La filosofia di base in questo campo è, infatti, che più si pianifica bene e si previene, meno si interviene con le emergenze e il ripristino. Questo significa che anche per la programmazione dello sviluppo economico, oltre che per la pianificazione del territorio, sarà necessario definire e valutare la vulnerabilità economica, ambientale e territoriale ai cambiamenti climatici in modo diverso e dinamico, cioè con l'occhio rivolto al futuro del clima e non al clima del passato. È probabile che in molti contesti territoriali le necessità di adattamento e quelle di sostenibilità economica non comporteranno solo piccoli aggiustamenti, ma decisi interventi tesi a cambiare radicalmente metodi e tecniche di produzione economica o interventi ancor più drastici per cambiare l'uso stesso del territorio.

Se l'entità dei cambiamenti climatici e dei relativi impatti fosse rilevante, non ci sarebbe da meravigliarsi se le analisi di adat-

tamento consigliassero, a proposito di un dato territorio, addirittura di abbandonare certe attività produttive per sostituirle con altre economicamente e ambientalmente più sostenibili nel futuro contesto dei cambiamenti del clima.

Valutare la vulnerabilità ai cambiamenti del clima

L'identificazione e la definizione, attraverso appositi indici, della vulnerabilità futura di un certo territorio o di un certo ambiente deve naturalmente essere rapportata al presente per valutarne l'evoluzione e le variazioni. Poiché il problema principale dell'adattamento è, innanzitutto, la riduzione della vulnerabilità, una volta ottenuto il quadro complessivo di come cambia la vulnerabilità in relazione ai cambiamenti climatici si possono adottare alcuni criteri di valutazione.

- Massima precauzione, ovvero vanno eliminati o minimizzati tutti i rischi prevedibili: si tratta di ridurre nel suo complesso la vulnerabilità attuale e futura in relazione agli scenari precauzionali o più estremi, ma realisticamente possibili, dei cambiamenti climatici e dell'evoluzione futura del territorio. La riduzione assoluta della vulnerabilità comporta l'uso dei migliori interventi e delle migliori tecnologie, indipendentemente dai costi. Può essere giustificata solo se il tipo di vulnerabilità prevedibile è tale da causare danni incalcolabili (ad esempio epidemie).
- Massima efficacia della precauzione ma ripartita a seconda delle priorità da difendere: ovvero vanno eliminati o minimizzati non tutti i rischi prevedibili, ma solo quelli che hanno una reale possibilità di provocare i maggiori danni in settori ambientali e strategici ritenuti di importanza prioritaria. Si tratta di ridurre nel complesso solo la vulnerabilità attuale, e di procedere per il futuro a riduzioni successive o *ad hoc* in relazione all'e-



voluzione dei cambiamenti climatici, ambientali e antropici sul territorio mano a mano che si manifesteranno.

- **Precauzione realistica ma accettabile:** ovvero vanno eliminati o minimizzati non tutti i rischi che hanno una reale possibilità di manifestarsi, ma solo quelli che in base a una analisi costi-benefici portino al massimo beneficio socio-economico conseguibile. Si tratta di ridurre la vulnerabilità attuale solo nei casi conclamati e nei settori più sensibili, e di procedere alle future riduzioni solo sulla base di valutazioni costi/benefici (ovvero, è preferibile pagare i danni qualora i costi delle opere di prevenzione risultino superiori ai danni, e attuare opere di prevenzione qualora i danni aspettati superino i costi della prevenzione).

Le opzioni di adattamento

Ai fini della programmazione degli interventi di adattamento bisogna porsi delle domande prioritarie che riguardano i costi e i benefici dei possibili interventi da attuare, dove per costi e benefici non si intendono solo quelli di sostenibilità economica, ma anche quelli di sostenibilità sociale e di sostenibilità ambientale.

L'adattamento, come scelta "anticipatoria" per prevenire le conseguenze negative dei cambiamenti climatici e minimizzarne i danni, dipende molto sia dalla percezione dei rischi dei cambiamenti climatici sia dalla percezione della convenienza economica dei costi da sostenere per ridurre le conseguenze di tali rischi.

Ad esempio, un sistema umano (come una comunità) può, dopo un'analisi costi/benefici, ritenere opportuno non fare nulla per adattarsi ai cambiamenti climatici, ovvero ritenere accettabile correre il rischio di subire danni, perdite o modifiche (reversibili e irreversibili) a causa dei cambiamenti climatici. È dispo-

sto, quindi, a subire la parte di rischio a bassa probabilità; ritiene di poter far fronte all'eccezionalità degli eventi e alle conseguenze che inizialmente riteneva improbabile potessero accadere.

Se, viceversa, dopo l'analisi costi/benefici il sistema umano accetta di affrontare i costi e gli impegni che risultano dalle valutazioni effettuate, allora si possono mettere in atto diverse alternative per affrontare sia il rischio del cambiamento climatico sia il rischio del danno.

Le opzioni di adattamento sono in genere le seguenti.

- *Difesa passiva:* ovvero modificare la vulnerabilità del territorio e del sistema socio-economico agendo sulla riduzione del rischio aggiuntivo indotto dai cambiamenti del clima. Si cerca di attuare misure preventive di difesa "reattiva" senza modificare le attività umane (ad esempio costruire dighe).

- *Difesa attiva:* modificare la vulnerabilità del territorio e del sistema socio-economico agendo sulla riduzione dei danni causati dal rischio aggiuntivo indotto dai cambiamenti del clima. Si cerca di attuare misure preventive di difesa "proattiva" modificando le attività umane per ridurre e attenuare i danni temuti, oppure si cerca di ricorrere ad alternative di sviluppo socio-economico equivalenti (passare da un tipo di coltivazione a un altro).

- *Difesa assicurativa:* non modificare la vulnerabilità del territorio e del sistema socio-economico, ma suddividere e condividere i prevedibili danni in modo solidale (istituire un fondo comune *ad hoc*).

- *Abbandono:* vale a dire non modificare nulla, né la vulnerabilità del territorio, né quella del sistema socio-economico, ma abbandonare il territorio e le sue vecchie opportunità di sviluppo per indirizzarsi verso nuove prospettive (delocalizzare le attività umane esistenti).

Conferenza nazionale sui cambiamenti climatici 2007 (CNCC2007)

La comunità internazionale dei 189 Paesi ONU, che hanno approvato e ratificato la Convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC), ha con chiarezza indicato due tipologie di azioni strategiche che le nazioni dovrebbero attuare in materia di cambiamenti climatici causati dalle attività umane che sono simili a quelle che normalmente si attuano in materia di grandi rischi.

Si tratta, quindi, di agire sulle cause del rischio di cambiamenti climatici. Le azioni a monte del rischio fanno parte della cosiddetta "*strategia di mitigazione dei cambiamenti climatici*" ed hanno l'obiettivo di eliminare, o quanto meno rallentare, i cambiamenti climatici dovuti alle attività antropiche, ed in particolare eliminare la principale causa che è l'accumulo di gas serra in atmosfera provenienti dalle attività umane.

Ma è anche indispensabile agire sulle conseguenze del rischio di cambiamenti climatici. Le azioni a valle del rischio fanno parte della cosiddetta "*strategia di adattamento ai cambiamenti climatici*" ed hanno l'obiettivo di prevenire le conseguenze negative ed i possibili danni derivanti dai cambiamenti del clima.

Accanto alla strategia di mitigazione è quindi necessario dare il via anche a una strategia che porti ogni paese ad adattarsi, senza troppi danni, a una situazione futura diversa da quella attuale.

Ma l'adattarsi non è un'alternativa al mitigare, anzi è complementare ad esso, in quanto strategia integrativa anche sotto il profilo dei costi economici ed ambientali. Dalla capacità di efficacia e di reale attuazione delle strategie di mitigazione, ovvero dal raggiungimento a livello internazionale dell'obiettivo di significativa riduzione delle emissioni antropogeniche di gas serra, dipenderà infatti l'effettiva entità delle esigenze di adattamento alle conseguenze e i danni dei cambiamenti climatici.

Le strategie di adattamento competono ai singoli paesi perché, pur in un contesto internazionale di riferimento, implicano scelte nazionali strategiche di gestione delle peculiarità e vulnerabilità specifiche del proprio territorio e delle proprie attività e risorse.

Ed è su questo, in particolare, che la CNCC2007 intende formulare le proprie proposte di azioni concrete e ponderate, frutto del dibattito più ampio che si è sviluppato anche nei mesi precedenti nei workshop e convegni preparatori la Conferenza Nazionale: in giugno ad Alghero, su *aree a rischio desertificazione*, a Roma su *cambiamenti climatici e salute*, e a Palermo, su *aree costiere a rischio di erosione/inondazione*; in luglio a Saint Vincent, su *ghiacciai e aree a rischio di deglaciazione*, a Napoli, su *dissesto idrogeologico*, a Parma, sul *bacino del Po*, e a Brindisi, su *emissioni di gas serra*.

Il programma molto ricco di CNCC2007 si sviluppa nelle giornate del 12 e 13 settembre presso la sede della FAO a Roma in Viale delle Terme di Caracalla, ha come destinatari i decisori politici, le Istituzioni, le Amministrazioni nazionali, regionali, locali, la comunità scientifica, il mondo produttivo e la società civile. Infatti tra gli obiettivi, oltre ad individuare i presupposti tecnico-strategici per l'elaborazione di una strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici e a fornire un reale contributo all'avvio di strategie che concorrano ad una più articolata politica nazionale di risposta ai cambiamenti climatici, rimane fondamentale informare l'opinione pubblica su cause e conseguenze di questi cambiamenti, al fine di promuovere l'adozione di comportamenti e stili di vita più consapevoli.

Tra i partecipanti vanno segnalate le più alte cariche dello Stato e del Governo, i più autorevoli rappresentanti del mondo sindacale e delle imprese, di enti locali, di istituzioni scientifiche nazionali ma anche internazionali, quali Jacques Diouf (Direttore Generale FAO), Rajendra K. Pachauri (Presidente IPCC), Roberto Acosta (Coordinatore Strategie Adattamento UNFCCC), Achim Steiner (Direttore Esecutivo UNEP), Hans Verolme (Direttore Programma Clima WWF Internazionale).

In contemporanea alle sessioni della Conferenza Nazionale sono previsti alcuni *eventi paralleli*:

una Tavola rotonda *Progetto di realizzazione di un sistema nazionale di monitoraggio idrometeoclimatico*;

una Tavola rotonda *Monitoraggio della risorsa agro-forestale come indicatore dei cambiamenti climatici*;

un Seminario *Gli effetti dei cambiamenti climatici sulla biodiversità*;

una *Conferenza Junior*, in collaborazione con la rete CIFE del sistema delle Agenzie e della rete INFEA.



Questa conferenza, che si svolge in contemporanea con la seconda giornata della CNCC2007, si propone di coinvolgere anche la fascia più giovane della cittadinanza nella ricerca di strategie e nella costruzione di un impegno individuale e collettivo per affrontare il problema dei cambiamenti climatici, nelle due prospettive della mitigazione e dell'adattamento. La Conferenza Junior costituisce letteralmente "il primo giorno di scuola" per una rappresentanza di circa 100 studenti di scuole medie di secondo grado, impegnati, sotto la guida di esperti, in un'attività di *game simulation* sulle dinamiche che intercorrono tra le attività umane e i cambiamenti climatici. Tale modalità di lavoro consente l'acquisizione di conoscenze complesse attraverso l'esperienza ed assicura il coinvolgimento sia razionale che emotivo da parte dei ragazzi, che potranno poi approfondire la tematica nel corso dell'anno scolastico insieme ai loro docenti, anch'essi partecipanti alle attività didattiche. La Conferenza Junior, come riconosciuto dalla Commissione nazionale italiana per l'UNESCO, s'inquadra nel Decennio ONU dell'Educazione allo sviluppo sostenibile e contribuisce in maniera significativa a diffonderne i principi e realizzarne gli obiettivi.

Alla Conferenza Nazionale è presente anche una *sessione poster*, articolata sui temi dell'approfondimento scientifico (APAT, ENEA, CNR, FEEM), delle realtà territoriali (casi di studio e storie di successo), dei convegni e workshop preparatori.

È prevista anche un'area espositiva istituzionale con stand presidiati, per informazioni e distribuzione di materiale di interesse della CNCC2007.

Il programma prevede la cerimonia di apertura della Conferenza, alla presenza del Presidente della Repubblica Giorgio Napolitano, con il saluto di benvenuto del padrone di casa, Jacques Diouf, Direttore generale FAO, mentre l'introduzione all'evento viene svolta da Giancarlo Viglione, Presidente APAT, l'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici che ha curato l'organizzazione della manifestazione insieme a al sistema delle agenzie ambientali.

L'inizio dei lavori è articolato su due temi: il quadro di riferimento internazionale, che tratta gli scenari IPCC, i costi dell'inazione nei paesi del Mediterraneo, il negoziato della UNFCCC e le questioni dell'adattamento; e il quadro di riferimento nazionale e mediterraneo, che illustra le conseguenze dei cambiamenti climatici in Italia e nel Mediterraneo e i risultati dei workshop preparatori.

Nel pomeriggio si svolgono tre sessioni parallele sul tema: *Acqua, suolo, foreste: l'adattamento come nuovo governo del territorio*. Si parla perciò di risorse idriche e agricoltura, di suolo e coste, di biodiversità e foreste, di mitigazione, ma anche delle conclusioni elaborate dai gruppi di lavoro sui temi di ambiente e salute, e mare e risorse marine

In apertura della seconda giornata sono alla ribalta gli strumenti di adattamento: strumenti normativi, pianificatori, di prevenzione sanitaria, di valutazione economica, formativi e finanziari.

A seguire una Tavola Rotonda, moderata dal direttore del TG1 Gianni Riotta vede la partecipazione di Ministri, Sindacati, Confindustria e Enti Locali.

Nel pomeriggio viene esaminato il tema dei Piani di adattamento, visti sia sotto la dimensione internazionale che europea.

In chiusura di giornata Vincenzo Ferrara, che è il Coordinatore della Conferenza, riassume e illustra le proposte scaturite dalle due giornate di lavoro, mentre prima della conclusione dei lavori da parte del Ministro dell'Ambiente Alfonso Pecorella Scanio è previsto anche un intervento del Presidente del Consiglio dei Ministri Romano Prodi.

Climatologo ENEA
e Coordinatore della Conferenza Nazionale sul Clima

Per informazioni
vincenzo.ferrara@casaccia.enea.it





Rajendra K. Pachauri è nato a Nainital, India, il 20 agosto 1940. Direttore (1981) e poi Direttore Generale (dall'aprile 2001) del TERI, Tata Energy Research Institute, dall'aprile 2002 è Presidente dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), l'organismo fondato nel 1988 sotto l'egida del WMO (World Meteorological Organization) e dell'UNEP (United Nations Environment Programme).

Ha partecipato attivamente a diversi forum internazionali sul clima. In riconoscimento del suo importante contributo alle questioni ambientali, nel 2001 gli è stato conferito il Padma Bhushan Prize, uno dei più importanti premi attribuito a personalità civili dell'India per alti meriti al servizio della nazione.

Per le sue vaste competenze, è stato invitato a far parte di vari comitati e organi direttivi nazionali e internazionali, tra i quali International Association for Energy Economics di Washington DC (Presidente nel 1988 e nel 1989) e Asian Energy Institute (Presidente dal 1992 in poi).

Pachauri è stato anche membro di vari Comitati del Governo dell'India e, nel gennaio 1999, è stato nominato Direttore del Consiglio di Amministrazione dell'Indian Oil Corporation Limited per un triennio. Nell'aprile 1999, è diventato Membro del Consiglio di Amministrazione dell'Istituto per le Strategie ambientali Globali (Institute for Global Environmental Strategies), del Ministero per l'Ambiente del Governo del Giappone, per un triennio. Nel luglio 2001, è stato nominato Membro del Comitato Consultivo Economico per il Primo Ministro del Governo dell'India.

Intervista a Rajendra K. Pachauri

A cura di Alida La Croce

È autore di oltre 20 libri e di diverse pubblicazioni e articoli.

Quando, come e perché è nato l'IPCC, qual è il suo ruolo attuale e quale potrebbe essere un aspetto da sviluppare maggiormente?

L'Intergovernmental Panel on Climate Change fu fondato nel 1988 in risposta alla preoccupazione generale sui cambiamenti climatici e alla necessità di creare un ente scientifico autorevole che realizzasse valutazioni standardizzate. Tutto questo è stato il risultato di una discussione sull'argomento all'Assemblea Generale delle Nazioni Unite. Realizzando valutazioni in base alla letteratura *peer reviewed* del settore, il Panel ha consentito di ridurre le incertezze e di colmare le precedenti lacune di conoscenza e informazione. Forse il progresso più significativo dal punto di vista strategico è stata la combinazione di una sempre maggiore certezza sulla base fisica dei mutamenti climatici, di una valutazione più mirata degli impatti a livello regionale e delle stime dei costi della mitigazione che oggi risultano essere di gran lunga inferiori rispetto a quanto previsto in passato.

L'ultimo Rapporto IPCC ha avuto il merito, tra le altre cose, di attirare fortemente l'attenzione dei governanti della Terra sulla drammatica situazione dei cambia-



menti climatici e di spingerli a proporre interventi più drastici sul versante delle riduzioni delle emissioni dei gas serra. Quali sono le azioni future dell'IPCC dal punto di vista dell'informazione e della sensibilizzazione al fine di influenzare le politiche mondiali di contrasto ai cambiamenti globali?

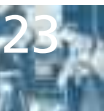
Stiamo portando avanti una vasta campagna di informazione all'esterno mirata a sensibilizzare l'opinione pubblica, perché crediamo che non basti limitarsi alla mera valutazione della scienza dei cambiamenti climatici, ma bisogna anche essere sicuri che il messaggio arrivi in ogni dove. Pertanto ci stiamo muovendo in più direzioni per informare la gente nelle più svariate parti del mondo sulle scoperte evidenziate nei nostri Rapporti. Ad esempio, ad ogni nuova pubblicazione del Rapporto IPCC organizziamo una conferenza stampa, ma anche appositi eventi in diverse parti del mondo: proprio due settimane fa (metà luglio 2007, ndr), tanto per citarne uno, abbiamo organizzato un evento a Casablanca, in Marocco. Io stesso partecipo come speaker a diversi forum: la scorsa settimana sono intervenuto al meeting ECOSOC delle Nazioni Unite; questa settimana parlerò a un gruppo di esperti sulle problematiche relative alla gestione delle aree urbane. Per quanto mi riguarda sono coinvolto in prima persona partecipando a forum diversi al fine di diffondere quanta più informazione possibile sulle probabili conseguenze devastanti dei cambiamenti climatici. Guardiamo con occhio attento all'impatto dei cambiamenti climatici e cerchiamo di sensibilizzare la gente sull'entità che potrebbe raggiungere se non facciamo presto qualcosa per prevenirlo.

Nello scenario previsto dall'IPCC sugli effetti dei cambiamenti climatici, secondo Lei quali sono le zone del Pianeta più vulnerabili e quali sono le ripercussioni in Europa?

Nel caso dell'Europa abbiamo valutato che, con molta probabilità, la maggior parte delle regioni temperate saranno colpite da precipitazioni più copiose e ci sarà un cambiamento evidente nel modello dei venti. Naturalmente, su tutto il pianeta, ci saranno più ondate di calore e un maggior numero di precipitazioni di estrema intensità. L'impatto sarà notevole anche per l'agricoltura e la disponibilità di acqua sarà di gran lunga inferiore. Anche le regioni artiche risulteranno molto vulnerabili, in quanto il riscaldamento di tali aree avviene al doppio della velocità rispetto a qualunque altra zona del pianeta. E questi sono solo alcuni dei cambiamenti climatici. Di certo vi sarà anche un indebolimento della circolazione termoalina (la circolazione globale oceanica determinata da temperatura e salinità delle acque, ndr), e questo significa che si indebolisce la Corrente del Golfo attraverso l'Oceano Atlantico. È l'impatto di tali effetti negativi che l'Europa dovrà contrastare in futuro.

Si dice che anche se noi riducessimo drasticamente le emissioni di CO₂, gli effetti di decenni di politiche di sviluppo economico ambientalmente insostenibile si farebbero comunque sentire sugli equilibri del pianeta aumentandone la conflittualità per gli approvvigionamenti (cibo, acqua, energia). In tale situazione qual è il ruolo e l'importanza delle politiche di adattamento che sono e dovranno essere adottate dai vari Paesi per rispondere efficacemente ai mutamenti climatici in atto?

L'attuazione di una politica di adattamento è di importanza fondamentale, in quanto l'impatto dei mutamenti climatici durerà a lungo nel tempo anche qualora riuscissimo a stabilizzare la concentrazione di gas serra nell'atmosfera terrestre. L'adattamento può realizzarsi in diversi modi: ad esempio, contro l'innalzamento del livello del mare dovremmo essere in grado di fornire infrastrutture di protezione nelle zone costiere e nei piccoli Stati insulari. Dovremmo anche adottare una regolamentazione edilizia che vieti la creazione di costruzioni e proprietà in aree vulnerabili, dovremmo assicurarci che vengano predisposti sistemi preventivi di allarme in caso di mareggiate, cicloni e altri eventi catastrofici, per-



ché in queste zone l'innalzamento del livello del mare renderebbe l'impatto di alcuni di questi eventi naturali di gran lunga peggiore. Nel caso dell'agricoltura, dovremmo assicurarci di creare nuove specie resistenti alla siccità, che possano crescere anche in mancanza di acqua e in presenza di modelli precipitativi mutati. Il problema è ancora più serio se parliamo dello scioglimento dei ghiacciai: tutti i Paesi che dipendono dal corso di fiumi originati dai ghiacciai dovranno con molta probabilità adattarsi a minori quantità di acqua disponibile e ciò comporta necessariamente un uso più efficiente delle risorse idriche. C'è tutto un ventaglio di azioni che è necessario intraprendere ma che saranno comunque efficaci fino a un certo punto; in caso di cambiamenti delle temperature e di mutamenti climatici più severi, a lungo andare, qualunque politica di adattamento risulterà del tutto inefficace e inapplicabile. Pertanto è importante adottare strategie di adattamento e di mitigazione: entrambe sono necessarie e complementari.

È corretto pensare che l'obiettivo principale deve essere la riduzione delle vulnerabilità attuali e future, non la stabilizzazione della situazione?

La stabilizzazione dell'atmosfera è possibile soltanto attraverso la riduzione dell'anidride carbonica, entrambe le cose vanno di pari passo. Non è possibile stabilizzare l'atmosfera e continuare ad emettere anidride carbonica. Naturalmente vi sono tanti altri gas da tenere sotto controllo, ma senza dubbio la CO₂ è la più importante. Per ridurre le emissioni di anidride carbonica è di fondamentale importanza agire su entrambi i fronti: è possibile ottenere la stabilità della concentrazione solo se cessano le emissioni di gas serra e se si fissa un costo per il carbonio, condizione assolutamente essenziale per ridurre le emissioni di CO₂ nell'atmosfera.

Ognuno di noi, con il proprio comportamento, può fare qualcosa per cercare di contribuire a rendere meno drammatica la situazione. Qual è il ruolo delle amministrazioni sottonazionali per la lotta ai cambiamenti climatici? Può essere importante nel panorama generale il contributo fornito dalle iniziative locali alla soluzione dei problemi ambientali del Pianeta?

Le amministrazioni locali, le comunità locali possono fare molto. Ad esempio, occorre fare in modo che i nuovi edifici siano progettati e costruiti con tecnologie ad elevata efficienza energetica; analogamente, per i vecchi edifici occorre prevedere una serie di modifiche mirate all'uso efficiente dell'energia mediante tecnologie in grado di ridurre l'intensità delle emissioni di anidride carbonica; il trasporto pubblico è qualcosa su cui le amministrazioni locali devono porre la massima attenzione, affinché si riduca al minimo l'utilizzo delle automobili.

Si possono adottare molte altre strategie a livello locale, ma più di ogni altra cosa occorre trasmettere consapevolezza alle persone, in modo che modifichino conseguentemente le proprie abitudini e i propri comportamenti a beneficio di un uso più efficiente dell'energia. Sono pertanto convinto che i governi locali siano in grado di svolgere un ruolo determinante a patto che agiscano in fretta, altrimenti è improbabile che si possano raggiungere risultati degni di nota.

La Cina e l'India per i loro ritmi di sviluppo saranno nel prossimo futuro le maggiori produttrici di CO₂. Quale potrà essere il ruolo di questi due paesi nell'ambito delle azioni per la mitigazione e il controllo delle emissioni di gas serra e delle politiche di contrasto ai cambiamenti climatici?

La Cina e l'India restano ancora tra i paesi con più bassa emissione *pro capite* di anidride carbonica e di gas serra rispetto ai paesi industrializzati. Tuttavia, per economie emergenti, come la Cina e l'India, sarebbe importante adottare un modello di sviluppo a minore intensità di carbonio rispetto a quello che fu intrapreso dai paesi industrializzati. Questi ulti-



mi, ovviamente, dovranno aiutare i paesi in via di sviluppo a raggiungere tale obiettivo, come stabilito dalla *UN Framework Convention on Climate Change*. I paesi industrializzati dovranno, perciò, fornire supporto in termini sia di trasferimenti di tecnologie sia di risorse finanziarie. Se ciò accadrà, senza dubbio Cina e India saranno in grado di ridurre la crescita dei propri livelli di intensità di carbonio. Credo che ci si debba concentrare su questo.

Il cambiamento climatico avrebbe conseguenze negative in tutte le regioni del mondo: ma sono "i più poveri dei poveri" a pagarne il tributo?

Certo, le società più povere ovunque nel mondo si riveleranno probabilmente le più vulnerabili di fronte all'impatto dei cambiamenti climatici.

Cosa pensa del Protocollo di Kyoto quale strumento efficace per incidere sul reale e, in particolare, dei meccanismi flessibili e dei carbon sinks?

Il Protocollo di Kyoto ha rappresentato un utile inizio per l'applicazione dei principi stabiliti dalla *UN Framework Convention on Climate Change*, ma forse il suo contributo più grande è stato la creazione di un mercato del carbonio attraverso l'utilizzo dei meccanismi flessibili.

Crede sempre nella necessità di fissare tre orientamenti prioritari: identificare i problemi; quantificare l'impatto dei cambiamenti climatici sulla natura tenendo conto della diversità geografica e culturale; fare una riflessione su una prospettiva futura?

Io credo che lo sviluppo sostenibile risulti alla radice dei cambiamenti climatici: sia per quanto attiene alle loro cause, poiché essi rappresentano una deviazione dallo sviluppo sostenibile, sia per il fatto che il loro impatto colpirebbe la capacità delle società di perseguire lo sviluppo sostenibile. Allo stesso tempo parecchie opzioni di mitigazione rappresentano una parte veramente importante delle pratiche per lo sviluppo sostenibile. La contabilità "verde", ad esempio, è utile, perché abbiamo bisogno di stimare le esternalità delle azioni umane mentre cerchiamo di trovare strategie adatte a contrastare ogni genere di problemi ambientali come anche la sfida posta dai cambiamenti climatici.

Per concludere, la crisi che attraversiamo è devastante e irreversibile o, come dice il filosofo Hölderlin "Dove c'è il pericolo cresce ciò che ti salva"? Qual è la sua personale opinione sulla capacità dell'umanità di affrontare questo problema globale?

Credo che l'umanità debba svegliarsi, perché oggi tutti conosciamo le cause, gli scenari futuri e l'impatto dei cambiamenti climatici, e credo che con la quantità di informazioni disponibili oggi non vi sia alcuna ragione per far finta di nulla. Abbiamo anche raggiunto livelli di prosperità e redditi elevati e una tale disponibilità di tecnologie da poterci consentire di compiere passi nella giusta direzione. Sono quindi ottimista e credo che con il grado di consapevolezza raggiunto dai leader, dall'opinione pubblica, da tutte le parti interessate, saremo in grado di promuovere azioni che possano realmente proteggere il Pianeta riducendo al minimo gli effetti negativi dei cambiamenti climatici nel futuro. Di certo, non abbiamo molto tempo, e se non agiamo subito, non faremo altro che accrescere la minaccia dell'impatto negativo. Ma mi piace essere ottimista e credere che abbiamo un'opportunità unica e spero che tutti ne siano ben consapevoli.

Hanno collaborato all'intervista
Carla Costigliola e Carlo Di Palo
ENEA-Ufficio di Presidenza

Per informazioni
lacroced@sede.enea.it



Veicoli ibridi: tecnologie e prospettive di sviluppo

Giovanni Pedè, Ennio Rossi

Tra gli obiettivi di ricerca e sviluppo dell'ENEA, un importante tema di studio è rappresentato dai veicoli ibridi, una tecnologia caratterizzata da elevata efficienza energetica e basse emissioni, che pur avendo raggiunto, in alcune applicazioni, la maturità industriale, presenta ancora stimolanti aspetti di ricerca



Nel 2005 in Italia i consumi finali di energia sono stati pari a 146,2 Mtep. Il settore dei trasporti ha contribuito a questa cifra per il 30% (44 Mtep) [1] ed il valore è in costante crescita, superato solo negli ultimi anni dal consumo nel settore civile dovuto al diffondersi della climatizzazione estiva. Correlato al consumo di energia è il rilascio delle sostanze inquinanti generate nel processo di combustione, principalmente ossidi di azoto e di carbonio e idrocarburi incombusti, che ha effetti locali e globali. Ad esempio, la percentuale delle emissioni in atmosfera dovute al trasporto sul totale delle emissioni climalteranti da processi energetici (480 Mt di CO₂ equivalenti) è del 28% (figura1) per il 94% dovute al trasporto su gomma [1].

Tale rilascio è diffuso lungo tutta la rete stradale ma nelle grandi città, per effetto della concentrazione dei mezzi e dei rallentamenti causati dal traffico, le concentrazioni di inquinanti nell'atmosfera assumono sempre più spesso livelli superiori ai limiti di accettabilità.

Hybrid vehicles: technology and development prospects

One of the major R&D subjects at ENEA is hybrid vehicles characterized by high energy efficiency and low emissions. This article discusses the energy and environmental aspects of the technology, reviews the state of the art and describes ENEA's achievements in this field



Emissioni di gas serra da processi energetici per settore

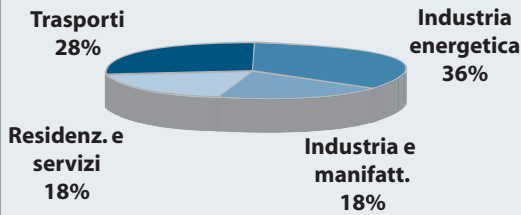


Figura 1
Distribuzione emissioni CO₂
Fonte: elaborazione ENEA su dati APAT

La riduzione delle emissioni tossiche e nocive per l'uomo si è quindi imposta ormai da tempo come fattore guida per l'evoluzione della tecnologia automobilistica. Le evoluzioni e gli sviluppi propri della tecnologia sono stati fortemente condizionati da quelli del quadro legislativo e normativo di riferimento, che da più di trent'anni è orientato all'introduzione di vincoli sempre più stringenti per la qualità dell'aria e quindi per il controllo delle emissioni e della qualità dei combustibili (tabella 1).

Le preoccupazioni per gli aspetti di carattere globale legati alle emissioni, evidenziate dalla Conferenza di Kyoto,

hanno poi imposto una maggiore attenzione ai consumi di energia e a questo ha corrisposto l'impegno assunto con l'Unione Europea, nel 1998, dalle industrie automobilistiche europee, rappresentate dall'ACEA di ridurre le emissioni specifiche a 140 g di CO₂ per km¹ nel 2008, (6 litri/100 km per le auto a benzina e 5,3 litri per i diesel), e a 120 g di CO₂ per km nel 2012.

Sono evidenziati in figura 2 i risultati raggiunti dalle industrie europee in termini di riduzione delle emissioni di CO₂, ottenuti in buona parte grazie allo spostamento della domanda dalla benzina

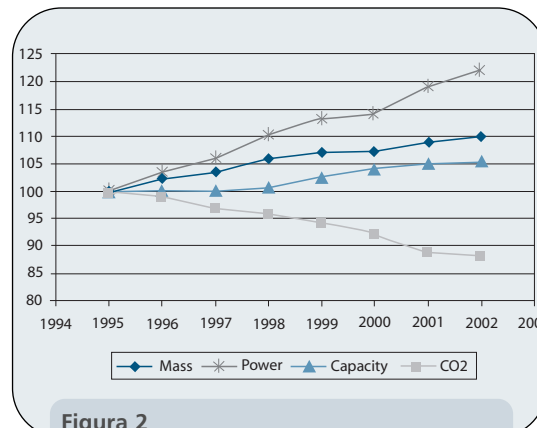


Figura 2
Andamento, per le vetture europee di nuova produzione, di consumi, potenze, masse e volumi
Fonte: ACEA [2]

Tabella 1 - standard emissivi norme euro veicoli passeggeri (g/km)

BENZINA	In vigore dal	CO	HC	NOX	
EURO I	1° luglio 1992	4,05	0,66	0,49	
EURO II	1° luglio 1996	3,28	0,34	0,25	
EURO III	1° luglio 2000	2,30	0,20	0,15	
EURO IV	1° luglio 2005	1,00	0,10	0,08	
DIESEL	In vigore dal	CO	HC	NOX	PM
EURO I	1° luglio 1992	2,88	0,20	0,78	0,14
EURO II	1° luglio 1996	1,06	0,19	0,73	0,10
EURO III	1° luglio 2000	0,64	0,06	0,50	0,05
EURO IV	1° luglio 2005	0,50	0,05	0,25	0,025

1. Emissione media per le autovetture di nuova produzione.

riflettore su

al gasolio, controbilanciato però da un contemporaneo aumento della massa delle autovetture e delle potenze installate a bordo.

L'incremento dei pesi e delle potenze ha in effetti pregiudicato gravemente il raggiungimento degli obiettivi (di riduzione dei consumi) indicati dalla comunità [3] e la Commissione Europea ha perciò confermato (Comunicazione COM(2007) 19 del 7.2.2007) l'obiettivo di riduzione delle emissioni a 120 g di CO₂ per km entro il 2012, questa volta con misure mandatorie:

- la riduzione a 130 g/km della media per le vetture nuove immatricolate;
- un ulteriore abbattimento di 10 g/km grazie all'adozione di misure specifiche relative ai sistemi di condizionamento di bordo, il monitoraggio della pressione degli pneumatici, l'adozione di pneumatici a bassa resistenza al rotolamento e di indicatori cambio marcia, l'incremento dell'uso di biocombustibili.

Anche per i veicoli commerciali leggeri ci sarà l'indicazione di raggiungere per le CO₂ 175 g/km nel 2012 e 160 g/km nel 2015 e infine misure orientate alla domanda e al comportamento dei consumatori, con l'adozione di misure fiscali, come la tassazione delle automobili in relazione alle emissioni di CO₂ e di possibili incentivi per veicoli LEEV - Light-duty Environmentally ecc..

Ottenere ulteriori riduzione di consumi ed emissioni dei motori comporta però non solo strategie di miglioramento del prodotto, ma anche una forte dose di innovazione, con un grande impegno di ricerca ed ingenti investimenti per il superamento delle barriere tecnologiche presenti. Ad esempio, la Panasonic EV è diventata leader nel settore delle batterie per ibridi e detiene saldamente il 74% del mercato mondiale [4], proprio grazie ad uno sforzo di innovazione in

un settore giudicato molto difficile e poco promettente dall'industria automobilistica tutta, fatta eccezione per quella giapponese che ha anche partecipato allo sviluppo di queste batterie innovative.

In sintesi, tra le principali novità tecnologiche dell'ultimo decennio abbiamo avuto:

1. una estesa elettrificazione del motore e dei sistemi di bordo (drive by wire, brake by wire, parzializzazione del motore, comando elettromagnetico valvole, ibridizzazione² del sistema di trazione ecc.);
2. l'impiego di nuovi materiali e lo sviluppo di nuove proprietà dei materiali classici (nanosensori, nanocatalizzatori, nanofibre).

Nel seguito si illustreranno i concetti di base dei veicoli elettrici ibridi che, proposti agli inizi del Novecento [5], dopo un lungo abbandono sono entrati solo oggi nella fase di produzione di serie.

Gli ibridi della Toyota e della Honda

Il 25 marzo 1997 la Toyota presentò alla stampa la "Prius", una berlina con le stesse prestazioni delle vetture tradizionali della sua classe, ma con emissioni e consumi estremamente ridotti grazie all'ibridazione del motore termico con due macchine elettriche ed all'uso di una innovativa batteria nichel-idruri prodotta dalla Panasonic.



Figura 3
Toyota Prius II

2. Trasformazione di una trazione convenzionale in trazione ibrida.

Ad oggi, sono in circolazione in tutto il mondo oltre 700.000 unità di queste vetture (in figura 3 il nuovo modello lanciato nel 2003) che offrono prestazioni di assoluto rilievo in termini di emissioni (vedi figura 4) e di consumi. Il consumo di soli 4,3 litri per 100 km [6] in effetti soddisfa già oggi l'obiettivo europeo al 2012, cioè i 120 g/km di CO₂ precedentemente indicati.

Alle Prius la Toyota ha poi fatto seguire altri modelli, come la Crown, l'Estima e i modelli Lexus RX, GS ed LS Hybrid, ai vertici delle rispettive categorie. Ha inoltre potuto vendere la sua tecnologia a Ford, per l'Escape, un SUV da 4 litri di cilindrata, e a Nissan, per l'Altima, una berlina da 2,5 litri, appena presentata sul mercato nordamericano. Come si vede, si tratta di vetture di classe elevata, ed in effetti è in questo settore che si stanno affermando le autovetture ibride, grazie ai vantaggi offerti in termini di silenziosità, ripresa e guidabilità, piuttosto che ai consumi ridotti rispetto alle vetture non ibride della stessa categoria. Dopo una lunga sperimentazione anche la Honda nel novembre 1999 avviò la produzione di serie della Insight, un coupé per il quale sono state adottate non solo le soluzioni più avanzate in termini veicolistici e motoristici, ma anche l'ibridazione del propulsore termico.

L'IMA (Integrated Motor Assist), una macchina a magneti permanenti integrata nel volante (figura 5) svolge la funzione di motorino d'avviamento, alternatore, recuperatore di energia in frenata e integratore di coppia in fase di accelerazione. Grazie a questo complesso di soluzioni la percorrenza dichiarata per il ciclo urbano (quello definito dalla normativa giapponese) è di ben 35 km/litro [7]. Successivamente, lo stesso sistema è stato introdotto anche su berline come la Civic, che nel ciclo misto dichiara un consumo di 4,6 litri/100 km e la Accord, una 3 litri presentata nel dicembre 2004.

Il lancio sul mercato di questi prodotti è stato reso possibile, oltre che dai progressi che si sono avuti nel campo degli azionamenti ed in generale dell'elettronica di potenza, soprattutto dalla disponibilità di sistemi di accumulo ad elevata potenza specifica e molto affidabili, in particolare le batterie nichel-idruri metallici. Infatti nel caso della Prius il peso del pacco batterie è limitato a una trentina di kg, mentre per le Honda, che non hanno capacità di marcia in solo elettrico, il peso è ancor minore. L'uso di sistemi di accumulo così ridotti (e quindi in proporzione molto meno costosi delle batterie necessarie per un elettrico pu-

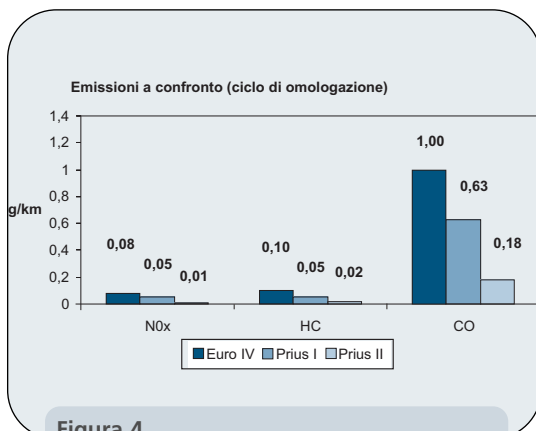


Figura 4
Emissioni della Toyota Prius e i corrispondenti limiti (EURO IV)
Fonte: elaborazione ENEA su dati Toyota



Figura 5
Honda Civic IMA

ro³) è naturalmente legato anche allo sviluppo di sistemi di controllo e gestione molto sofisticati, che consentono di sfruttarne al meglio le possibilità.

Modalità di funzionamento e classificazione

Il veicolo ibrido è così detto perché caratterizzato dalla presenza a bordo di due (o più) sorgenti di energia: un convertitore di energia primaria (motore a combustione interna, turbogas, cella a combustibile) ed uno (o più) sistemi di accumulo⁴, la cui contemporanea presenza assolve a varie funzioni.

L'accumulo offre innanzi tutto la possibilità di recuperare l'energia altrimenti dissipata durante le frenate, con risparmi dell'ordine del 5-20%, in funzione dell'uso prevalente del mezzo. Il recupero massimo si ha nel caso di un uso prevalentemente urbano, caratterizzato da frequenti fasi di *stop-and-go*. Questo è in effetti l'uso predominante per alcune tipologie di veicoli (veicoli per consegna a domicilio, autobus, automezzi per nettezza urbana ecc.) che si prestano particolarmente bene a trarre vantaggio dall'ibridazione.

Inoltre l'accumulo permette di separare le funzioni di conversione dell'energia primaria⁵ da quelle di erogazione di potenza alle ruote, che in un veicolo tradizionale devono essere soddisfatte contemporaneamente dal motore termico. Questo lavora perciò a regime variabile, per seguire la variabilità del carico richiesto dalla guida. Disaccoppiando le funzioni, si ottiene un miglior funzionamento sia della conversione, ottimizzata in una regione di funzionamento ristretta, sia della propulsione, che può essere gestita in modalità solo elettrica,

o termica o combinata, in funzione della configurazione del veicolo e delle necessità di marcia.

Nel veicolo ibrido, infine, un accumulo opportunamente dimensionato conferisce al mezzo la possibilità di percorrere brevi tratte in solo elettrico, con una flessibilità d'impiego maggiore sia rispetto al veicolo convenzionale che a quello elettrico "puro". Si tenga presente che quest'ultimo è ancora oggi fortemente limitato nella maggior parte degli usi a causa della sua ridotta autonomia.

Le architetture dei veicoli ibridi sono molteplici e si va dall'accoppiamento diretto (sullo stesso albero motore) motore termico-macchina elettrica, il cosiddetto ibrido "parallelo", all'ibrido "serie", con un generatore distinto dal motore di trazione, che è più frequente negli autobus e nei veicoli pesanti, anche su rotaia. La classificazione più conosciuta, in base all'architettura del sistema di trazione, comprende tre tipi di ibridi, quelli "serie", quelli "parallelo" e quelli di tipo "split". Un particolare tipo di ibrido parallelo è poi l'ibrido "minimo", un ibrido "parallelo" che può essere considerato il frutto della naturale evoluzione del motore a combustione interna.

La denominazione "veicolo bimodale" indica la possibilità di marcia in termico o in elettrico, non necessariamente gestita in automatico ed è caratterizzato in genere da una architettura di tipo "split". Il "plug-in-hybrid", infine, è un ibrido, di architettura qualsiasi, che offre la possibilità di utilizzare la rete per la ricarica delle batterie, ad esempio durante la notte.

Ibridi serie

Gli ibridi serie sono costituiti da un convertitore primario di energia, da uno o

3. Si intende elettrico "puro" il veicolo a batteria.

4. In genere elettrochimico, batterie, o elettrostatico, supercondensatori, o elettromagnetico, volani.

5. In genere consiste nella produzione di energia elettrica.



più accumuli elettrici, da uno o più motori elettrici di trazione, da convertitori di corrente/tensione e naturalmente da un sistema di controllo (figura 6). Come nei veicoli elettrici puri la coppia motrice alle ruote è fornita da uno o più motori elettrici. Nella marcia a potenza ridotta il sistema di generazione alimenta il motore elettrico e ricarica contemporaneamente le batterie, presenti in numero ridotto rispetto ad un veicolo solo elettrico. Quando sono richiesti spunti di potenza le batterie restituiscono questa energia, affiancandosi al generatore nell'alimentazione dei motori di trazione.

Il generatore è solitamente dimensionato in base alla potenza media richiesta dal veicolo, che è sempre una frazione della potenza massima richiesta. Si ha così che il motore termico di un ibrido serie ha in genere una cilindrata che va da un quarto alla metà di quella del corrispondente modello convenzionale. Il motore elettrico di trazione va invece dimensionato sulla potenza massima. Anche le batterie sono dimensionate in base alla potenza massima per alimentare il motore durante gli spunti e non in base al contenuto energetico necessario per l'autonomia richiesta al veicolo, come accade invece nei veicoli elettrici puri.

Il funzionamento in stazionario a regime ottimale del gruppo di generazione

consente così un livello molto ridotto di emissioni nocive, che si annullano poi quando il veicolo marcia con la sola energia accumulata dalle batterie. Con questa modalità di utilizzo l'autonomia è però ridotta, in genere 20-30 km, a causa del limitato numero di batterie installate. Poiché i primi ibridi sono stati sviluppati, a partire dai primi anni 70, ibridizzando veicoli elettrici puri con l'aggiunta di un motogeneratore, la prima configurazione adottata è stata proprio quella "serie". Questo ha comportato inizialmente lo sviluppo di sistemi di trazione pesanti, ingombranti e costosi, stante le caratteristiche dei motori elettrici di trazione allora più in uso (macchine in continua). Nonostante i progressi fatti nel campo degli azionamenti, le applicazioni tipiche della configurazione "serie" rimangono comunque i veicoli con ampia disponibilità di spazio e margini di peso per l'installazione del generatore, del motore e del pacco batterie. Gli autobus sono una tipica applicazione della trazione ibrida serie. Tra questi ricordiamo gli autobus ibridi realizzati dall'ALTRA (IVECO-ANSALDO) come Europolis (figura 7), gli Autodromo ALè, gli Horus di EPT, i piccoli Tecnobus. Il monitoraggio delle emissioni dei primi mezzi di questo tipo, effettuato anche dall'ENEA nella seconda metà degli anni 90 [8], evidenziò un dimezzamento delle emis-

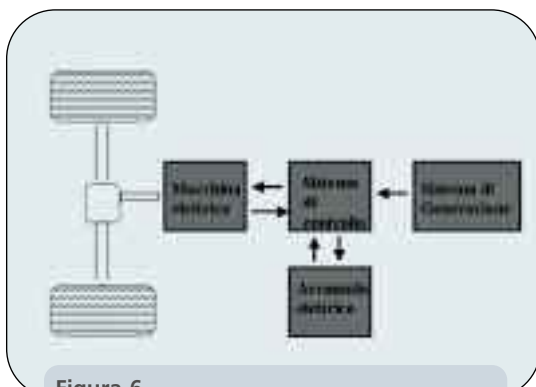


Figura 6
Schema funzionale di ibrido serie

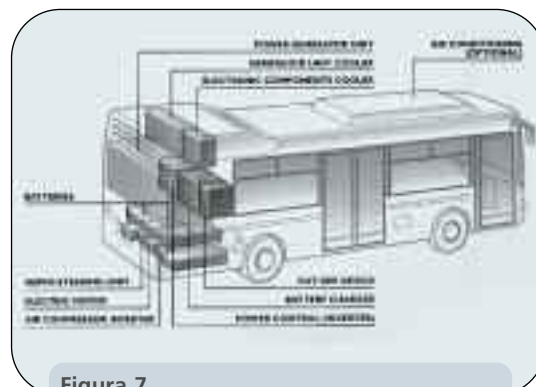


Figura 7
L'Altrobus Europolis
Fonte: IVECO

sioni rispetto all'alternativa convenzionale, a fronte di consumi all'incirca uguali, che scontavano però l'assenza dei sistemi automatici di gestione e controllo dei flussi di potenza, introdotti solo in seguito. Un'analoga sperimentazione condotta a New York prima dell'introduzione di una flotta di circa 300 autobus ibridi ha dato gli stessi risultati, evidenziando però costi di manutenzione superiori del 30-40% [9]. In effetti, uno dei problemi riscontrati nell'uso di questi mezzi è la loro maggiore complessità sia rispetto ai veicoli convenzionali che a quelli a batteria, che si riflette nell'affidabilità e nei costi di manutenzione. Peraltro, gli autobus ibridi sono gli unici mezzi sul mercato che, quando non sia possibile ricorrere a sistemi a guida vincolata come i filobus, offrono le stesse prestazioni dei mezzi convenzionali ed in più la possibilità di marcia in solo elettrico. A tal riguardo, nell'ultimo congresso della federazione delle associazioni mondiali degli ingegneri automobilistici, il FISITA 2006, è stato annunciato un ordine alla Daimler di 500 autobus da parte della città di New York, sulla base dei risultati di una sperimentazione comparativa con il diesel durata alcuni anni (DOE/NREL Transit Bus Evaluation Project).

L'ibrido serie, infine, anticipa la tecnologia del veicolo con cella a combustibile e stoccaggio dell'idrogeno a bordo. Infatti, con una Fuel-Cell al posto del motogeneratore, si sostituisce alla combustione un processo di ossidazione controllata dell'idrogeno a bassa temperatura. Non si emettono perciò inquinanti e si produce energia elettrica con un rendimento ben superiore a quello del motogeneratore. Un autobus ibrido di questo tipo è stato realizzato anche dall'IVECO e sperimentato lungamente a Torino (figura 8) anche in servizio passeggeri. Il monitoraggio effettuato dall'ENEA ne ha evidenziato le grandi potenzialità anche in termini di riduzione dei consumi energetici (meno 40% rispetto al diesel, in kWh/km)[10].

Ibridi parallelo

L'ibrido "parallelo" è stato sviluppato per l'ibridizzazione di autovetture, partendo quindi dal motore termico e trasformandolo in un "power pack" ibrido completato da un accumulo elettrico. Sono presenti almeno due modalità di propulsione: una termica e l'altra elettrica. Nella prima il motore termico accoppiato alla trasmissione consente la propulsione diretta del veicolo, con un migliore rendimento energetico rispetto all'ibrido serie che ha una catena dei rendimenti più lunga. In aggiunta si hanno una o più macchine elettriche, che svolgono le funzioni di propulsione e/o di generazione di elettricità. Un esempio di ibrido parallelo molto semplice è dato dal mezzo rappresentato in figura 9, dove il motore elettrico di trazio-



Figura 8
Il CityClass Fuel Cell a Torino

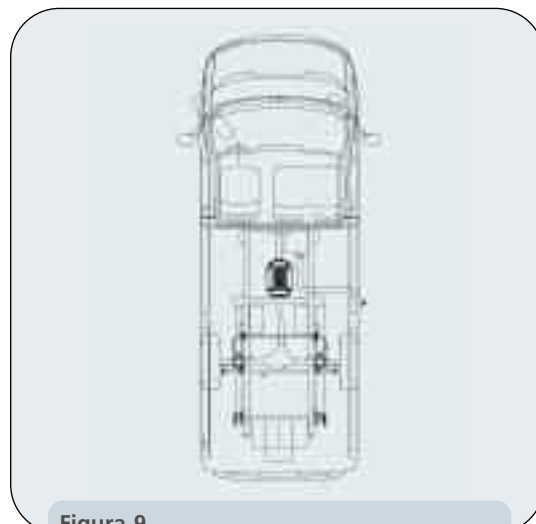


Figura 9
Il Daily MicroVett Bimodale: collocazione del motore elettrico [11]



ne è collocato lungo l'albero di trasmissione alle ruote posteriori, come se si trattasse di un retarder (elettrofreno).

Nella Prius invece il sistema è più complesso e comprende due macchine elettriche, accoppiate al motore termico tramite un cinematiso epicicloidale. Questo cinematiso, oltre a realizzare un cambio automatico, permette anche la gestione bidirezionale dei flussi di potenza elettrica tra batteria e ruote. Gli schemi costruttivi sono comunque numerosi e sempre più sofisticati, come dimostrano i prototipi presentati in più occasioni da GM e, anche congiuntamente, da DaimlerChrysler e BMW. È in genere sufficiente una potenza elettrica ridotta a una percentuale del 20-30% della potenza complessiva alle ruote, essendo la restante parte fornita direttamente dal motore termico. In alcuni casi è anche possibile scegliere la marcia in solo elettrico. La ricarica delle batterie tramite il motore termico è sempre automaticamente gestita dal sistema di controllo, e il rifornimento del veicolo è del tutto convenzionale al distributore di carburante. Fanno eccezione i cosiddetti "plug-in-hybrid", che consentono la ricarica alla rete (questa scelta progettuale è naturalmente possibile anche per la configurazione "serie"). La possibilità di ricarica notturna dei "plug-in-hybrid" può essere meglio sfruttata con un uso di flotta su cicli fissi, dove le batterie possono essere gestite in modo che arrivino scariche a fine giornata. Non mancano però esempi di autovetture, come la recentissima Chevrolet Volt, che offre la possibilità di ricarica alla rete e marcia in solo elettrico per circa 60 km.

I livelli di emissione sono superiori rispetto all'ibrido serie, ma rimangono comunque ridotti rispetto al corrispondente modello convenzionale in virtù del funzionamento del motore termico a regime quasi ottimale. I vantaggi dell'ibrido parallelo rispetto al serie consistono nella maggiore potenza specifica e nella maggiore compattezza, oltre a un rendimento migliore nell'uso au-

tostradale, dove è possibile la marcia a regime ottimale con il solo motore termico. Questa tipologia di ibridizzazione è stata all'inizio applicata alle berline, ad esempio alla Multipla, e in seguito anche ad autobus (GM) e furgoni per la consegna merci in ambito urbano. Quest'ultimo settore è trainato dalla necessità di modernizzare il parco circolante, diventato con il tempo una delle principali fonti di inquinamento atmosferico, e dalla richiesta sempre crescente di possibilità di marcia in solo elettrico per l'ingresso nei centri storici. Tanto la Mercedes con lo Sprinter che la Micro-Vett con il Daily ne hanno proposto versioni bimodali che rispondono pienamente alle necessità suddette. Ibridi di questo tipo vengono spesso detti "full hybrid" o "strong hybrid", in contrapposizione ai cosiddetti "mild hybrid".

Ibrido minimo o "mild hybrid"

L'ibrido "minimo" è un ibrido parallelo che usa una macchina elettrica abbastanza piccola (10-15 kW al massimo). Questa integra in sé varie funzioni: fa da motorino di avviamento; da motore elettrico la cui azione si aggiunge a quella del motore termico durante le fasi di accelerazione; da alternatore; da recuperatore dell'energia della frenata; in alcuni casi da motore per la marcia in solo elettrico. Il sistema garantisce un'elevata autonomia e consumi ridotti in autostrada, circostanza in cui sfrutta il motore termico, e nello stesso tempo consente consumi ed emissioni ridotti in città grazie al sistema di recupero in frenata e alla integrazione di coppia effettuata dal motore elettrico. Tutti i maggiori costruttori automobilistici hanno presentato modelli con sistemi di questo tipo; alcuni sono entrati in produzione come l'IMA (Integrated Motor Assist) delle Honda e lo Stop&Start, disponibile sulle Citroën C2 e C3 (figura 10); altri sono ancora in fase sperimentale come l'Ecodriver della FIAT, l'ISAD della Continental ecc..



Alcuni sistemi come l'IMA sono integrati nel volano del motore termico, e non consentono quindi il disaccoppiamento delle due macchine, altri sistemi come l'Ecodriner prevedono, invece, una frizione elettromagnetica che consente la marcia in solo elettrico. Gli ibridi di questo tipo costituiscono una naturale evoluzione delle motorizzazioni tradizionali e sono quindi caratterizzati, rispetto a quelli serie, da una migliore adattabilità a veicoli già in produzione.

Ibridi "split"

Gli ibridi di tipo "split" sono veicoli a quattro ruote motrici, a trazione (prevalentemente) termica su un assale e elettrica sull'altro. Le due motorizzazioni possono essere usate separatamente o contemporaneamente. Nella Lexus RX 400h, ad esempio, la trazione anteriore è assicurata dal motore termico e da un elettrico da 123 kW, quella posteriore da una motorizzazione elettrica indipendente da 50 kW, consentendo così l'eliminazione dell'albero di trasmissione longitudinale (figura 11). Se le modalità di funzionamento sono alternative, come ad esempio in alcuni mezzi pesanti, si parla più propriamente di veicolo bimodale e la soluzione comporta un notevole appesantimento degli organi meccanici ed un impatto ambientale che è pari a quello di un veicolo convenzionale nel caso di funzionamento del solo motore termico. Hanno comunque una certa importanza per l'accesso a luoghi particolari, qua-



Figura 10
Lo Stop & Start del Gruppo PSA [12]
Fonte: PSA

li complessi ospedalieri, ampie zone chiuse ecc.. Applicazioni in questo senso sono state naturalmente sviluppate anche a livello prototipale, ad esempio nella GM Precept [13], mentre in Italia è stata recentemente realizzata dall'Università "La Sapienza", con il contributo dell'ENEA, la Magica II [14], una "concept car" sportiva (figura 12). La vettura ha la trazione anteriore elettrica e quella posteriore termica, gestite da un controllore che ne consente un funzionamento pienamente integrato.

Risparmio energetico e ibridi

Vediamo più da vicino le principali ragioni della maggiore efficienza dei sistemi ibridi rispetto a quelli convenzionali.

Recupero di energia in frenata

In un veicolo la richiesta di energia durante le fasi di marcia a velocità costante (pre-



Figura 11
Lexus RX 400h



Figura 12
La Magica II al banco in ENEA per la messa a punto della trazione elettrica



dominanti nell'uso extraurbano) dipende dalle resistenze aerodinamiche e da quella di rotolamento dei pneumatici, mentre durante le fasi di accelerazione (predominanti nell'uso urbano) dipende anche dall'inerzia del veicolo. L'energia che dal motore arriva alle ruote è funzione inoltre dei diversi rendimenti in gioco, i quali dipendono dalle caratteristiche del veicolo. In figura 13 è riportato un esempio con riferimento ad un'autovettura di classe media, a benzina, per il ciclo urbano utilizzato dalla procedura europea di omologazione. Sono riportate le perdite nel motore e nella trasmissione alle ruote, e quelle di funzionamento al minimo del motore. L'energia necessaria per le accelerazioni (6% di quella del combustibile) è pari al 35% dell'energia che arriva alle ruote (a sua volta pari a solo il 16,7% di quella del combustibile), e questo nonostante la presenza di un lungo tratto in marcia extraurbana. Considerando invece un ciclo composto dalla sola parte urbana quasi la metà dell'energia che arriva alle ruote è necessaria per accelerare, ed in un veicolo tradizionale viene quindi dissipata completamente durante le successive frenate.

In un ibrido, invece, considerando un rendimento di generazione di elettricità durante il recupero del 70% e un rendimento di carica e scarica delle batterie ugualmente del 70%, l'energia restituita al motore in fase di accelerazione è circa la metà

di quella resa disponibile dalla frenata, che abbiamo già visto essere a sua volta il 35% circa dell'energia necessaria alla marcia. Questo valore risulta sostanzialmente confermato dalle prove al banco a rulli dell'ENEA di un Altrobus da 6 m, dove si è misurato un recupero di energia pari al 15% di quella totale generata [15]. Misurazioni effettuate a bordo degli autobus ibridi hanno dato risultati anche migliori, perché, a fronte di un fabbisogno energetico medio pari a 1,8 kWh/km, il fabbisogno effettivo si riduce nell'ibrido a 1,4 kWh/km, cioè il 22% in meno [16]. Questo è probabilmente dovuto alla maggiore severità dei cicli reali rispetto a quelli di omologazione, che si traduce in un più frequente utilizzo del recupero in frenata.

Ottimizzazione del rendimento del motore primo

Durante i cicli urbani la variabilità del regime del motore è massima, e ciò produce rendimenti ridotti ed emissioni rilevanti. Infatti il consumo specifico di un motore varia al variare della coppia e del numero di giri, ed in città è molto frequente la marcia a potenza ridotta, che comporta consumi specifici molto elevati. I frequenti transitori, poi, pesano molto dal punto di vista delle emissioni, specialmente quando il motore è freddo ed è quindi necessario arricchire la miscela.

Come può vedersi dal diagramma in figura 14, la presenza dell'accumulo consen-

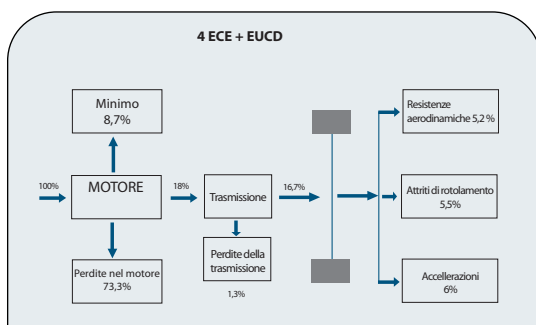


Figura 13
Ripartizione delle perdite e degli utilizzi finali di energia per una vettura
Fonte: Centro Ricerche Fiat

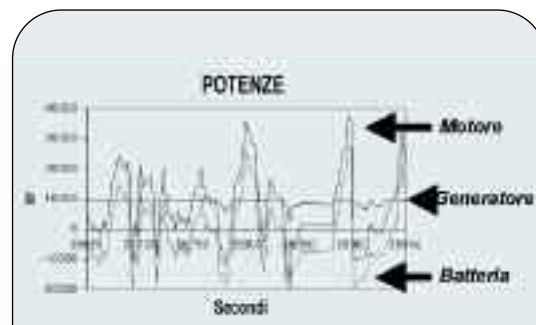


Figura 14
Andamento dei flussi di potenza in un ibrido
Fonte: ENEA [17]

te di livellare quasi completamente l'erogazione di potenza del generatore, che nel caso ideale dovrebbe porsi al valor medio della potenza del ciclo, lasciando alle batterie il compito di sopperire ai picchi di potenza positivi (fasi di accelerazione) e negativi (recupero in frenata).

È questa la ragione che consente di adoperare un motore termico di potenza molto ridotta rispetto alla potenza massima alle ruote (in un autobus da 12 m, ad esempio, è sufficiente un motogeneratore da 30 kW rispetto ai 128 kW richiesti sulla trazione) con riduzione del peso, dei consumi e delle emissioni, e farlo funzionare nell'intorno della zona di rendimento ottimale.

Anche nel caso dell'accoppiamento meccanico dei due motori (ibrido parallelo) è possibile adottare un motore termico più piccolo grazie alle caratteristiche di erogazione di coppia motrice dei due propulsori che sono complementari. Infatti il motore termico eroga la coppia massima ai 2/3 del regime di rotazione massimo, e il motore elettrico eroga la sua coppia massima da fermo.

In questo modo sono possibili elevate coppie massime anche con cilindrata ridotte (figura 15) e si ottengono le prestazioni che offrirebbe un motore di cilindrata superiore, con i bassi consumi caratteristici di un motore piccolo.

L'ibridazione poi, grazie alla possibilità di marcia a bassa velocità con la sola trazione elettrica, consente di evitare il funzionamento del motore a piena potenza nel-

le partenze a freddo ed anche questo contribuisce alla riduzione delle emissioni.

Strategie di gestione

Le modalità di gestione dei flussi di energia a bordo del veicolo, ed in particolare la gestione del generatore elettrico, sono fondamentali per l'ottenimento dei benefici sopra indicati. Nell'ibrido serie si distinguono due strategie principali di gestione del generatore: quella on-off e quella a inseguimento del carico. Le due strategie si sono nel tempo evolute ed in parte integrate l'un l'altra [17].

Nella strategia on-off il livello di potenza è fisso, e l'adattamento della energia generata a quella (mediamente) richiesta avviene spegnendo e riaccendendo il generatore. Inseguire il carico, invece, significa adattare la potenza del generatore alla potenza media assorbita dal veicolo, ma con un gradiente di variazione dei parametri molto più dolce che in un motore collegato direttamente alla trasmissione. Ciò sempre nell'intento di evitare transitori di potenza deleteri per la qualità delle emissioni allo scarico e per i consumi.

In un ibrido serie con cella a combustibile la strategia ad inseguimento del carico, evitando gradienti di potenza troppo ripidi, agevola la gestione termoigrometrica della cella e ha un effetto positivo sulla sua durata. Nell'un caso e nell'altro, cella o motogeneratore che sia, anche le batterie sono meno sollecitate dai gradienti di potenza e si riduce l'energia da esse complessivamente erogata/ricevuta, limitandosi così le correlate perdite.

D'altra parte, la gestione del generatore a potenze troppo ridotte rispetto a quella nominale è sconsigliabile per questioni di rendimento, ed è perciò opportuno in queste condizioni o spegnerlo o farlo funzionare "a punto fisso", quindi con una strategia on-off.

È quindi molto importante lo studio di strategie di gestione e la disponibilità di siste-

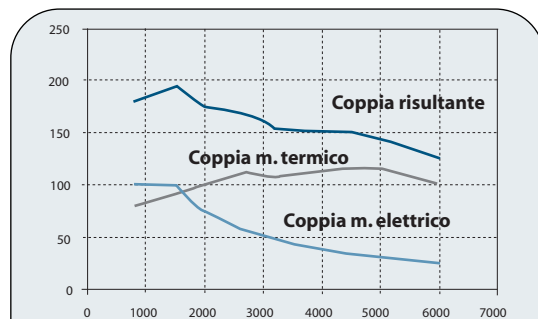


Figura 15
Curve caratteristiche del powerpack Eco-
Driver della Fiat
Fonte: Centro Ricerche Fiat



mi di controllo ottimizzati alle particolari modalità operative del veicolo. Prove al banco [16] hanno da tempo dimostrato, infatti, come il consumo specifico di un veicolo ibrido può variare del $\pm 20\%$ in funzione del livello di potenza prescelto per il sistema di generazione e del punto di funzionamento del sistema di accumulo. Il perseguimento dei vari obiettivi di gestione dei flussi energetici a bordo dell'ibrido può essere implementato con diversi livelli di complessità e di efficienza. In generale oggi si cerca di utilizzare tecniche di controllo ad anello chiuso dello stato di carica nella zona tra il 40% e l'80% del massimo. Questo principio, valido ma elementare, non consente di ottimizzare pienamente il consumo energetico al variare delle condizioni ambientali e di carico. Volendo superare questo limite, è possibile programmare un profilo temporale dello stato di carica del sistema di accumulo su base giornaliera, settimanale, mensile o stagionale per adattarlo alle variazioni delle condizioni ambientali e di carico. Ciò richiede una previsione del fabbisogno energetico che può essere ottenuta per via statistica o per mezzo di algoritmi autoapprendenti (per esempio reti neurali) [18]. Fermo restando quanto sopra detto per la gestione dell'accumulo elettrico, nell'ibrido parallelo il sistema di gestione abilita il motore termico quando la velocità supera un valore minimo, evitando così bruschi transitori all'avviamento. Durante la marcia, poi, il motore termico viene gestito in maniera tale che il suo punto di funzionamento, pur adattandosi alla richiesta di potenza, si mantenga nella regione di miglior compromesso tra efficienza energetica e basse emissioni.

Il contributo dell'ENEA

L'ENEA ha dedicato attenzione e risorse al tema della mobilità e delle motorizzazioni a basso impatto ambientale fin dagli

anni 80. Alle attività e conoscenze acquisite sulle batterie si sono aggiunte nel tempo le prove con i veicoli elettrici e in seguito con gli ibridi.

Uno dei primi contributi dell'ENEA alla crescita del settore è stato quindi l'offerta ai costruttori di una serie di servizi di prova e di qualificazione. Grazie ad importanti attrezzature realizzate allo scopo [19], sono stati sperimentati nel tempo nel CR della Casaccia componenti e veicoli di vario genere, dai ciclomotori agli autocarri leggeri, con prove di durata (per le batterie), prestazioni, consumi ed emissioni [16, 20, 21], che hanno contribuito a far chiarezza sulle possibilità della tecnologia.

Analoghe campagne di prova sono state effettuate sul campo, con il "testing" di singoli prototipi o piccole flotte di mezzi di questo tipo [8, 10,].

Un secondo tipo di contributo, più prettamente di ricerca e sviluppo, l'ENEA lo ha fornito in alcuni settori poco esplorati dall'industria, ma ritenuti particolarmente promettenti, come il tempo ha poi dimostrato. Alcuni degli argomenti su cui l'ENEA può oggi vantare una specifica competenza sono la gestione delle batterie [22], lo sviluppo di sistemi di controllo dei flussi di potenza [15, 17], le applicazioni dei supercondensatori [23, 24], anche in associazione alle batterie [25], la modellazione di componenti e sistemi [26], lo studio e la realizzazione di sistemi di trazione completi [27, 28]. Sulla stessa linea, è attualmente in corso di realizzazione il prototipo di una vettura ibrida da città, caratterizzata da consumi molto ridotti, inferiori a 2,5 L/100 km ed emissioni EURO IV. Il mezzo sarà presentato alla competizione organizzata dall'ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile) nell'autunno di quest'anno e si avvarrà di una innovativa strategia di controllo per la gestione del sistema di accumulo, costituito da supercondensatori. La scelta della configurazione serie potrà permettere in un secondo momento la spe-



rimentazione di celle a combustibile al posto del motogeneratore inizialmente adottato. Il mezzo si propone sia come dimostratore di tecnologie che come soluzione concreta al problema del trasporto personale nelle grandi città, grazie alla derivazione dalla produzione di serie del componente più costoso, il motogeneratore, di origine motociclistica.

Conclusioni

La storia degli ibridi inizia da lontano quando, agli inizi del Novecento, la tecnologia automobilistica vedeva molte soluzioni tra di loro radicalmente diverse (vapore, elettricità, motori a combustione interna ecc.), in concorrenza tecnologica ed economica. Lo sviluppo dell'industria automobilistica ci ha poi insegnato che, perchè una soluzione si affermi, occorre che siano soddisfatte tre condizioni: facilità e versatilità d'uso, disponibilità di infrastrutture, costi accettabili. Il concorrere di tutte queste condizioni ha determinato il successo del motore a combustione interna alimentato a combustibili liquidi.

Anche adesso che i vincoli esterni di carattere ambientale impongono limiti sempre più stretti non solo sulle emissioni ma anche sui consumi, non vengono meno le ragioni alla base delle tre condizioni prima elencate. L'ibrido minimo soddisfa oggi tanto queste condizioni, quanto i vincoli esterni più severi stabiliti per questo primo decennio del secolo.

Esistono comunque alcuni fattori che ostacolano la diffusione dell'ibrido; tra questi va considerata la tendenza congenita delle aziende automobilistiche a rifiutare quanto si allontana dalla loro specifica cultura industriale, valga come esempio la diffidenza dell'industria automobilistica nord-americana nei confronti dell'uso del diesel nelle autovetture.

In ogni caso, anche se a lungo termine la soluzione della cella a combustibile con

stoccaggio dell'idrogeno a bordo (in sistemi d'accumulo che purtroppo non sono ancora ottimali per tutte le applicazioni) offrirà ineguagliabili vantaggi in termini ambientali. È pensabile che in tutti i casi in cui si imponga un particolare rispetto per l'ambiente, sarà la tecnologia dell'ibrido a coprire il *gap* temporale che ci si prospetta fino all'avvento dell'idrogeno, sia per gli autobus che per i veicoli commerciali.

Dal punto di vista dei componenti principali, del resto, il veicolo con celle a combustibile è comunque un veicolo a trazione elettrica con generazione a bordo dell'energia primaria. La sua architettura ha quasi tutti i componenti e sottosistemi in comune con l'ibrido, per cui è facile prevedere che tutti i progressi e i perfezionamenti che si conseguiranno nello sviluppo dell'ibrido (azionamenti, elettronica di potenza, sistemi di controllo) saranno un patrimonio prezioso anche per il veicolo a celle a combustibile [29].

Il progresso in questo settore è quindi certo, e nel corso dei prossimi anni è probabile che l'attuale rapidissimo sviluppo di questi sistemi di trazione diventi maturo patrimonio tecnologico da sfruttare su qualsiasi tipo di motorizzazione.

ENEA-Dipartimento Tecnologie per l'Energia,
Fonti Rinnovabili e Risparmio Energetico

Per informazioni
giovanni.pede@casaccia.enea.it

Bibliografia

[1] APAT, Annuario dei dati ambientali 2005-2006.

[2] "Monitoring of ACEA's Commitment on CO₂ Emission Reductions from Passenger Cars (2002). Final Report", 2003 Joint Report of the European Automobile Manufacturers Association and the Commission Services.

[3] T&E, European Federation for Transport and Environment, a cura degli Amici della Terra, 2006.



- [4] Batteries Energy. Storage Technology, Autumn 2006.
- [5] Victor Wouk "Hybrids: Then and Now", *IEEE Spectrum*, July 1995.
- [6] SpecialAutoTechnology, *FISITA Magazine*, volume 5, 2005.
- [7] Honda Insight, Press Information, September 1999.
- [8] A. Genovese, R. Ragona, "Experimentation of Hybrid Buses", 10th International Symposium "Transport and Air Pollution" 2001 – Boulder, Colorado.
- [9] "New York City Transit Diesel Hybrid-Electric Buses: Final Results" DOE/NREL Transit Bus Evaluation Project, 2002.
- [10] A. Genovese, R. Ragona, "Hybrid Fuel Cell us Experience in Turin : "On-road" experimental results", Electric Vehicles Symposium (EVS) -22, Yokohama, 2006.
- [11] C. Fonsati, F. Lucidi, Micro-Vett "Applicazioni di architetture ibride a combustione interna e a cella a combustibile su veicoli da trasporto merci", ANAE, Bressanone, 2006.
- [12] Gruppo PSA, Media Presentation, 7 settembre 2004.
- [13] " More details on GM Precept, GM's PNGV", SAE Autom. Magaz., marzo 2000.
- [14] L. Martellucci., M. Santoro, "MAGICA II Project: Experimental Results Analysis and Electronic Management Optimization", EVS-21, Monte Carlo, 2005.
- [15] M. Ceraolo, E. Rossi, G. Pede, "Control of series Hybrid Electric Vehicles: algorithms and experimental test", EVS-17, Montreal, 2000.
- [16] G. Lo Bianco, G. Pede, A. Puccetti, E. Rossi, ENEA, G. Mantovani. "Vehicle testing in ENEA drive train test facilities", SAE Conference, San Diego, 1999.
- [17] M. Pasquali, G. Pede, E. Rossi, M. Ceraolo, S. Barsali, "Control Experiences And Energetic Optimization Studies For A Series Hybrid Electric Vehicle " FISITA 2006, Yokohama.
- [18] A. Consoli, "Gestione energetica del veicolo ibrido", 1997.
- [19] G. Bernardini, M. Conte, L. De Andreis, F. Di Mario, G. Pede, E. Rossi e R. Vellone, "On the bench", *Electric & Hybrid Vehicle Technology '97*.
- [20] M. Conte, G. Pede, V. Sglavo, G. Mantovani, D. Gostoli, ALTRA, D. Macerata, Fiat Research Center, "High power lead-acid battery for heavy-duty HEV, on the road and laboratory performance and reliability assessment", *SAE 2003 Transaction, Journal of Engines*.
- [21] M. Conte, E. Rossi, "Safety and performance assessment for promotional introduction of electric scooters and power-assisted bikes in Italy", EVS-21, 2005, Monte Carlo.
- [22] M. Ceraolo, G. Pede, "Techniques for Estimating the Residual Range of an Electric Vehicle", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, N. 1, January 2001.
- [23] A. Di Napoli, F. Crescimbeni, A. Lidozzi, L. Solero, M. Pasquali, G. Pede, M. Santoro, "Multi Input Power Electronic Converter", *AutoTechnology 6/2004*.
- [24] G. Pede, M. Romanazzo, E. Sciubba, G. Giannini, "Sistema di accumulo elettrico "on board": un esempio di applicazione dei supercondensatori", *Technology. Memorie presentate da AnsaldoBreda a manifestazioni scientifiche*, 2006.
- [25] M. Pennese, M. Raimondi, A. Puccetti, "Sistema Starter-Alternator 12 V, Ibrizzazione dei Veicoli Convenzionali", *Ingegneria dell'Autoveicolo, ATA, gennaio 2007*.
- [26] P. Bolognesi, F.V. Conte, G. Lo Bianco, M. Pasquali, "Hy-Sim: a Modular Simulator for Hybrid-Electric Vehicles " EVS 18, Berlin, 2001.
- [27] A. Di Napoli, A. Lidozzi, L. Solero, M. Aresti, V. Ravello, M. Pasquali, G. Pede, A. Puccetti, M. Santoro, "A "Hardware-Emulated" Test Analysis of a PEM-Fuel-Cell Hybrid Powertrains" ICE 2005, Capri.
- [28] R. Cheli, G. Grande, R. Giglioli, R. Manigrasso, G. Pede, "Rail-car hybrid trains to reduce fuel consumption and emissions", 7th World Congress on Railway Research, Montreal, 2006.
- [29] A. Iacobazzi, S. Passerini, G. Pede, A. Bobbio, G. Botto, "FC Vehicle Hybridisation: an affordable solution for an energy-efficient FC powered drive train", *Journal of Power Sources 125* (2004), 280-291.

Produzione di idrogeno dall'acqua mediante processi termochimici

Michela Lanchi, Salvatore Sau,
Pietro Tarquini, Francesca Varsano,
Mauro Vignolini

L'idrogeno, se utilizzato come vettore energetico per l'accumulo delle risorse rinnovabili, può rappresentare un'efficace risposta ai problemi dell'approvvigionamento energetico e dell'inquinamento ambientale.

L'ENEA, in collaborazione con diverse università italiane, sta studiando una tecnologia innovativa per la produzione di idrogeno dall'acqua a spese dell'energia solare. E i risultati sono già promettenti



Negli ultimi quattro anni in ENEA è stata avviata e gradualmente ampliata una linea di ricerca di grande attualità e significato strategico, finalizzata alla produzione di idrogeno dall'acqua e portata avanti da un gruppo di ricerca di recente costituzione. L'obiettivo del progetto, finanziato da un programma nazionale di durata triennale (Fondo Integrativo Speciale per la Ricerca), è dimostrare la fattibilità scientifica della produzione di idrogeno dall'acqua mediante l'utilizzo di cicli termochimici, preferibilmente alimentati da energia solare. Il progetto rappresenta un'ambiziosa risposta alle attuali e future problematiche della dipendenza energetica europea, specialmente italiana, e al contenimento delle emissioni di anidride carbonica, possibile causa del riscaldamento globale del pianeta.

Fonti energetiche fossili e rinnovabili

È ormai diffusa la consapevolezza di come l'aumento della domanda energetica a livello mondiale stia portando ad una pro-

Producing hydrogen from water via thermochemical processes

Hydrogen, used as an energy vector for storing renewable sources, can be a viable solution for the critical issues of energy supply and environmental pollution. ENEA, in collaboration with several Italian universities, is studying an innovative technology for producing hydrogen from water with the aid of concentrated solar energy. Promising results have already been achieved



gressiva diminuzione delle risorse fossili nel pianeta, e di come i differenti livelli di capacità estrattiva dei paesi produttori siano responsabili di una sempre maggiore concentrazione delle risorse in poche aree¹. Riguardo il primo punto, nella tabella 1 vengono riportate alcune recenti stime sulla durata delle principali risorse energetiche.

Tabella 1 - Durata stimata delle fonti energetiche

	Durata delle riserve mondiali (anni)
Carbone	200
Gas naturale	50
Petrolio	35
Uranio (reattori termici)	70 (< 80\$/kgU)
Energie rinnovabili	∞

Fonte: IEA, World Energy Outlook, 2001;
World Nuclear Association, Supply of Uranium, June 2006

Da un punto di vista geopolitico, la concentrazione delle risorse in alcune specifiche aree sta assumendo un sempre maggiore peso strategico, soprattutto per l'Europa. Per quanto riguarda il petrolio, metà delle riserve attualmente disponibili sono localizzate in soli tre paesi (Arabia Saudita, Russia e Iraq), co-

me si desume dalla figura 1. Medesima situazione vale per l'uranio, le cui riserve sono localizzate principalmente in Australia e Kazakistan (40%). Per il gas naturale la concentrazione delle riserve è ancora più marcata, con i paesi del Golfo e quelli CSI (ex URSS) detentori rispettivamente del 31% e del 40% delle risorse. La situazione per le riserve di carbone ha un andamento analogo, anche se coinvolge un maggior numero di paesi, con il 60% delle risorse concentrate in Russia, Nord America, Cina e India. Il controllo delle riserve di questi combustibili fossili ha già posto una serie di problemi geopolitici, talvolta sfociati in conflitti armati, che con ogni probabilità saranno destinati ad acuirsi nel tempo, soprattutto in considerazione del fatto che la domanda di idrocarburi è destinata a superare l'offerta (per il petrolio, secondo le teorie basate sul cosiddetto "picco di Hubbert", intorno al 2014).

L'uso delle fonti rinnovabili, che hanno un potenziale illimitato e una distribuzione più omogenea sul nostro pianeta, può contribuire in modo significativo al-

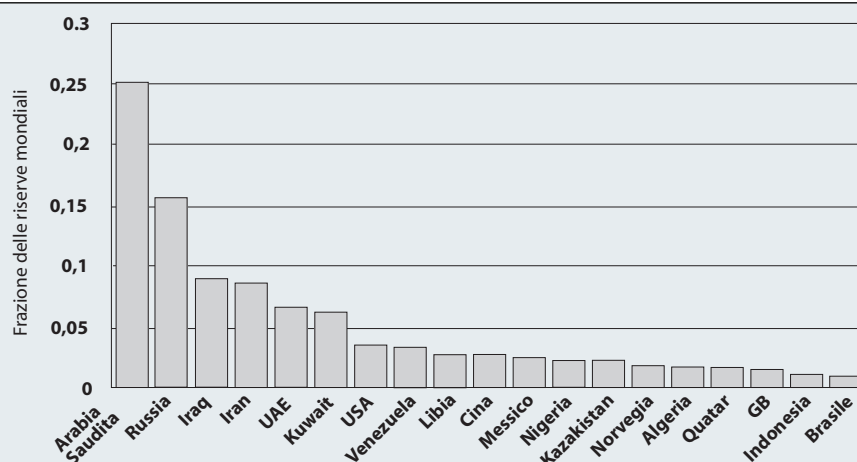


Figura 1

Distribuzione delle riserve di petrolio

Fonte: IEA, World Energy Outlook, 2001

1. The IEA work on energy - economics of oil, London, 24 July 2006.

la soluzione dei problemi di approvvigionamento energetico e di una più equa ripartizione delle risorse. A riprova di ciò nella tabella 2 viene riportata la distribuzione nel pianeta delle riserve energetiche fossili, di uranio e rinnovabili: mentre ad esempio per il petrolio o il carbone un quarto delle riserve si trovano concentrate tra il 5÷6% dei paesi, e la metà delle riserve tra il 12 e il 16% dei paesi, per le fonti rinnovabili tale percentuale sale al 25% ed al 50% rispettivamente.

Riguardo alle modificazioni climatiche in corso, pur in assenza di un parere unanime sul rapporto causa-effetto tra la concentrazione dei gas serra in atmosfera e il surriscaldamento globale, urgenti misure per la drastica riduzione dell'emissione dei gas derivanti dalla combustione degli idrocarburi sono in fase di valutazione in tutti i paesi industrializzati.

Tra le misure proposte per il medio-lungo termine, oltre alla sequestrazione dell'anidride carbonica, l'opzione primaria rimane il ricorso massiccio alle fonti rinnovabili.

Tuttavia un nuovo assetto energetico fondato sull'uso esteso delle fonti rinnovabili necessita di vettori di trasporto consolidati, quali l'energia elettrica, e di vettori capaci di realizzare l'accumulo, come l'idrogeno.

Il ricorso al vettore idrogeno può rappresentare una risposta efficace sia alla pro-

blematica dell'accesso alle risorse energetiche, con l'utilizzo di fonti rinnovabili in fase di produzione, sia alla problematica ambientale locale, con la riduzione delle emissioni in fase di utilizzo. Dal punto di vista dell'utilizzo, infatti, l'idrogeno è l'unico combustibile che può essere bruciato senza emissioni di anidride carbonica, monossido di carbonio, idrocarburi incombusti, polveri sottili ecc.. Inoltre, mediante l'impiego di fuel cell, esso è in grado di produrre energia elettrica in maniera altamente efficiente e senza rilascio di altri composti inquinanti per l'ambiente come gli ossidi di azoto. Dal punto di vista dell'approvvigionamento, l'idrogeno, pur essendo uno degli elementi più abbondanti in natura, è presente come gas molecolare in quantità trascurabili, mentre la maggior parte risulta legato chimicamente all'ossigeno (acqua) e al carbonio (idrocarburi). Per tale motivo, essendo un vettore energetico e non una fonte primaria di energia, esso viene attualmente prodotto a partire dagli idrocarburi (gas naturale, petrolio, carbone) mediante processi di conversione ormai consolidati (figura 2), accompagnati dall'emissione di anidride carbonica.

È però possibile ottenerlo anche a partire da acqua e da fonti energetiche rinnovabili, la cui disponibilità è praticamente illimitata nel tempo, e svincolata dagli idrocarburi (figure 3 e 4).

Tabella 2 - Distribuzione percentuale delle fonti energetiche

	Petrolio	Carbone	Uranio	Rinnovabili
Percentuale dei paesi che detengono 1/4 delle fonti energetiche	5,2	5,9	5,9	25
Percentuale dei paesi che detengono 1/2 delle fonti energetiche	16	12	16	50

Fonte: IEA, World Energy Outlook, 2001; World Nuclear Association, Supply of Uranium, June 2006.



Figura 2
Processi convenzionali di produzione dell'idrogeno



Figura 3
Processi innovativi di produzione dell'idrogeno

Processo		Materie prime	Energia	Emissioni CO ₂ (kg _{CO2} /kg _{H2})	Stadio di sviluppo (senza prove per commercializzazione)
Reforming	convenzionale	Idrocarburi	Gas	8-14	Completato
	ossidativo		Steam	5.5	In studio (2013)
	ossidativo		Steam	5.5	In studio (2013)
Gasificazione	convenzionale	Carbone	Gas	27-36	Completato
	ossidativo		Steam	11	In studio (2013)
	ossidativo		Steam		Completato
Elettrolisi	ossidativo	Acqua	ACQUA PURIFICATA	0	Completato
	ossidativo		ACQUA		Completato (in corso)
	ossidativo		ACQUA		In studio (2013)
	ossidativo		ACQUA		In studio (2013)
Cicli termochimici	ossidativo	Acqua	Steam	0	In studio (2013)
	ossidativo		Steam		In studio (2013)

Figura 4
Prospetto delle emissioni di CO₂ associate ai processi di produzione dell'idrogeno

In questo secondo caso, quindi, la "filiera" idrogeno, dalla produzione all'utilizzo, si configura come un sistema integrato completamente rinnovabile, a zero emissioni di gas serra.

Chiaramente la conversione della molecola dell'acqua in idrogeno ed ossigeno (idrolisi) ha un costo, sia in termini tecnologici che energetici. Se si volesse intraprendere la via diretta della scissione termica dell'acqua nei suoi costituenti idrogeno ed ossigeno, occorrerebbe fornire calore a temperature dell'ordine dei 3.000°C per avere una resa accettabile (l'energia libera di Gibbs della reazione di termolisi è nulla a circa 4.000°C). Ciò comporterebbe il ricorso ad una tecnologia al momento non praticabile e con l'ulteriore difficoltà nella separazione dei due prodotti che tendono a ricombinarsi. Due sono perciò le strade alternative perseguibili: l'elettrolisi e la scissione termochimica dell'acqua.

L'elettrolisi a bassa temperatura è un processo ben consolidato, in cui il lavoro utile necessario per annullare il ΔG (energia libera di Gibbs) di reazione è fornito sotto forma di lavoro elettrico. L'idrogeno prodotto è molto puro ma il suo costo non concorrenziale con quello ottenuto dalla conversione degli idrocarburi. Per tale motivo solo il 4% della produzione annua di idrogeno deriva da processi di elettrolisi. Le tecnologie attualmente disponibili (a bassa temperatura) hanno rendimenti di conversione globali non elevati, se si somma all'efficienza effettiva del processo di elettrolisi (65-75%) quella di conversione del calore in elettricità (35-40%).

Al fine di minimizzare il contributo del lavoro elettrico e di migliorare le prestazioni della cella di elettrolisi è in fase di sviluppo una tecnologia avanzata di elettrolisi operante ad alte temperature.

In ogni caso, il ricorso all'energia elettrica per la produzione di idrogeno è

concepibile solo quando quest'ultima è prodotta da fonti rinnovabili ed in condizioni di saturazione delle richieste di energia elettrica dalle reti.

L'altra strada, la termolisi indiretta dell'acqua o scissione termochimica, è un processo in fase di ricerca e sviluppo, oggetto di interesse da parte dei maggiori centri di ricerca del mondo (General Atomic e Sandia negli USA, CEA in Francia, CIEMAT in Spagna, DLR in Germania, JAEA in Giappone, KAERI in Corea, ENEA in Italia).

In questo caso la scissione dell'acqua in idrogeno e ossigeno viene realizzata attraverso un processo a più stadi, ovvero mediante una sequenza di reazioni chimiche che generano e consumano ciclicamente gli stessi composti a spese di calore a temperature in genere comprese tra 800 e 2.000°C. In pratica i cicli termochimici di maggiore interesse hanno temperature non superiori ai 900°C, in modo da poter essere alimentati sia da impianti solari a concentrazione, le cui tecnologie di captazione sono già disponibili ed in costante sviluppo, sia da reattori nucleari di IV generazione tipo HTGR (High Temperature Gas Reactor).

A titolo esemplificativo il processo può essere quindi assimilato ad una macchina alimentata da calore e da acqua che, mediante un ciclo chimico interno, produce idrogeno ed ossigeno in punti spazialmente diversi (figura 5).

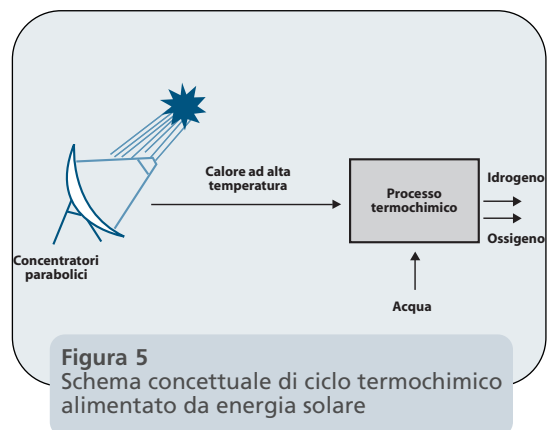


Figura 5
Schema concettuale di ciclo termochimico alimentato da energia solare



Stato dell'arte dei cicli termochimici

Nel corso degli ultimi anni sono stati proposti numerosi cicli termochimici, ad oggi più di 200 [1], ma la ricerca a livello internazionale si è orientata solo su alcuni cicli. L'ENEA, a valle di una sperimentazione estensiva e di approfondite valutazioni teoriche, ha selezionato due candidati, destinati ad essere alimentati termicamente dall'energia solare: il ciclo zolfo-iodio (S-I) ed il ciclo basato sulle ferriti di manganese (noto come ferriti miste). Mentre il ciclo S-I ha conosciuto negli ultimi anni un notevole interesse da parte della comunità scientifica internazionale e un consistente sviluppo in termini di definizione della chimica di base e di elaborazione teorica, il secondo è ad uno stadio iniziale di verifica della fattibilità scientifica, ma sembra presentare numerosi vantaggi in particolar modo per le applicazioni solari. Su questo ultimo ciclo l'ENEA ha inoltre sviluppato un *know-how* esclusivo, in particolare sui metodi di produzione delle ferriti.

In entrambi i casi l'obiettivo primo della ricerca è la definizione di una configurazione di impianto caratterizzata da minimi consumi termici. Infatti, perché la scelta dei cicli termochimici sia giustificabile è necessario che l'efficienza energetica dei processi sia globalmente superiore a quella associata all'elettrolisi dell'acqua a partire dalla medesima fonte primaria, con la prospettiva di arrivare a costi di produzione dell'idrogeno inferiori.

Ciclo S-I

Il ciclo S-I è attualmente oggetto di studio presso il JAEA, la GA-SANDIA ed il CEA, ma negli ultimi due anni sono stati avviati programmi di ricerca anche dal KAERI (Corea) e dall'Università di Pechino (Cina). L'obiettivo comune dei grup-

pi menzionati è lo sviluppo di una configurazione nucleare del processo, in cui la sezione di impianto ad alta temperatura venga alimentata termicamente da un reattore nucleare HTGR.

Il JAEA, dopo aver completato il test di fattibilità del ciclo continuo su scala laboratorio [2], di recente ha assemblato ed esercito un impianto su scala banco (50 NI/h di idrogeno), i cui dati di funzionamento sono ancora riservati. Parallelamente è in fase di progettazione un impianto pilota (1-30 Nm³/h di idrogeno [3]), caratterizzato da tecnologia ad alta pressione e dotato di un sistema di controllo integrato che verrà realizzato entro il 2012.

La strategia di sviluppo adottata dai gruppi statunitensi (GA-SANDIA [4]) prevede invece la collaborazione con il CEA per la realizzazione di un impianto dimostrativo presso la GA di San Diego (circa 200 NI/h di idrogeno) funzionante in continuo e dotato di sistemi di controllo.

Il progetto, denominato I-NERI, ha una durata di tre anni e il raggiungimento dell'obiettivo finale, ossia la messa a punto e l'esercizio dell'impianto dimostrativo, è previsto per la fine del 2007. Se dunque la dimostrazione della chimica di base [5, 6], della ciclabilità degli intermedi chimici [2] e del controllo [7] è stata già effettuata a vari livelli, rimane aperta la questione del rendimento termico effettivo del ciclo [8], che è strettamente dipendente dalle soluzioni tecnologiche adottate per i recuperi termici e la separazione dei componenti. L'impiego di operazioni unitarie a pressione e l'introduzione di sostanze aggiuntive come solventi selettivi sembra, da un punto di vista teorico, ridurre il consumo energetico del processo, ma ad oggi non esistono impianti funzionanti progettati sulla base di criteri di ottimizzazione del rendimento energetico.

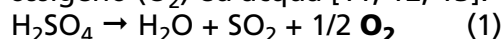
Ciclo delle ferriti miste

La produzione di idrogeno da acqua mediante cicli termochimici che si basano su coppie di ossidi è particolarmente adatta ad essere alimentata da energia solare concentrata, in quanto si tratta di processi ad alta temperatura che implicano l'interazione di gas con materiali solidi supportati, generalmente idonei all'assorbimento e all'accumulo del calore. Pertanto, numerosi sono i progetti internazionali che finanziano la ricerca e lo sviluppo di materiali adatti a produrre stabilmente e reversibilmente idrogeno ad alta temperatura, unitamente all'ideazione di reattoristica solare non convenzionale. Tra questi è possibile citare il progetto del Department of Energy americano [9], il progetto dell'Unione Europea Hydrosol [10], le ricerche condotte al Tokyo Institute of Technology giapponese e al CIEMAT spagnolo. Nell'ambito di questi progetti sono state operate delle valutazioni scientifiche e tecnologiche che hanno portato all'individuazione di diverse coppie di ossidi, ossia il materiale attivo, e di diverse configurazioni di reattoristica solare. Ad oggi alcuni prototipi sono già oggetto di sperimentazione sul campo, ma diversi sono i problemi ancora aperti, essenzialmente legati all'utilizzo di materiali ad alta temperatura (superiore ai 1000°C)

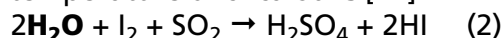
La chimica del ciclo zolfo-iodio

Il ciclo termochimico S-I schematizzato nella figura 6 si compone principalmente di tre reazioni, in cui ciclicamente vengono decomposti e rigenerati acido iodidrico e acido solforico. In maggior dettaglio il ciclo si articola nei seguenti step:

- nella prima reazione (endotermica, a circa 850°C) l'acido solforico (H_2SO_4) è decomposto a biossido di zolfo (SO_2), ossigeno (O_2) ed acqua [11, 12, 13].



- nella seconda reazione (esotermica), denominata reazione di Bunsen, il biossido di zolfo (SO_2), prodotto nella prima reazione, viene fatto reagire con iodio (I_2) e acqua (H_2O) per rigenerare l'acido solforico e l'acido iodidrico, a temperature di circa 80°C [14].



- nella terza reazione (endotermica, a circa 500°C) l'acido iodidrico viene termicamente decomposto ad idrogeno (H_2) e iodio (I_2), che viene riciclato alla reazione 2.



Sommando le tre reazioni descritte si ottiene, come bilancio netto, la scissione termica dell'acqua, che è di fatto l'unico reagente introdotto nel processo, mentre le altre sostanze rappresentano dei prodotti intermedi.

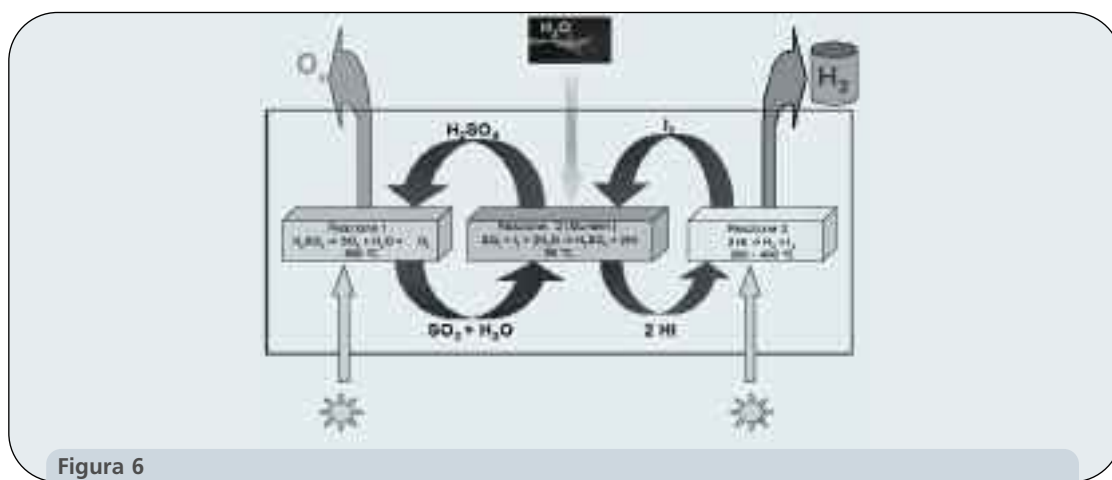


Figura 6
Schema del ciclo termochimico S-I



Il vantaggio di un processo così articolato risiede nel realizzare la decomposizione dell'acqua ad una temperatura massima di 850°C, nettamente inferiore alla temperatura di scissione termica diretta (che è di almeno 2.000°C), e perfettamente compatibile con le tecnologie ed i materiali attualmente disponibili.

Tutte le reazioni menzionate sono inoltre ben conosciute e consolidate: le reazioni 2 e 3 sono note dai primi del 900, mentre la 1 è comunemente utilizzata dalle industrie di tutto il mondo per la purificazione ed il riciclo dell'acido solforico spento.

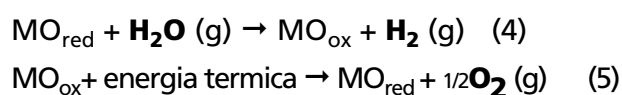
In aggiunta i livelli termici sono realisticamente compatibili con le moderne tecnologie solari, rendendo possibile l'approvvigionamento di energia sotto forma di calore proveniente dal sole.

La reazione 3, per esempio, può essere accoppiata ai collettori parabolici lineari a sali fusi sviluppati e realizzati nel Centro Ricerche ENEA della Casaccia [15]. Per dimostrare la fattibilità del ciclo, l'ENEA sta realizzando un impianto dimostrativo completo, primo in Europa, destinato a produrre in continuo circa 10 litri/h di idrogeno, accoppiato ad un reattore solare per la decomposizione dell'acido solforico. Tale attività, finanziata dal progetto FISR-TEPSI (Tecnologie e Processi innovativi per affrontare la transizione e preparare il futuro del Sistema Idrogeno), è condotta in collaborazione con varie università italiane, ha la durata di tre anni e si muove nella direzione, ormai obbligata, della "emancipazione" energetica dalle fonti fossili.

La chimica del ciclo delle ferriti miste

I cicli termochimici che utilizzano coppie di ossidi metallici per la scissione dell'acqua sono in linea di principio estremamente semplici. Infatti sono costitui-

ti da sole due reazioni: nella prima, la reazione di produzione di idrogeno, l'ossigeno dell'acqua viene catturato dal reticolo cristallino della forma ridotta di un ossido metallico (MO_{red}). In un secondo momento, il rilascio di ossigeno da parte della specie ossidata MO_{ox} riproduce i reagenti iniziali secondo il seguente schema di reazioni:



Tale metodo di produzione dell'idrogeno ha l'indubbio vantaggio dell'intrinseca semplicità del sistema chimico, che è rappresentato da una fase gassosa in continuo ricircolo e una fase solida fissa.

Numerose sono le coppie redox proposte nella letteratura scientifica, tra le quali FeO/Fe_3O_4 , CoO/Co_3O_4 e ferriti miste di Mn, Co, Zn. Il punto debole di questa classe di reazioni risiede nell'elevata temperatura alla quale diventa apprezzabile la rigenerazione dei reagenti (reazione 5). Tale temperatura, generalmente nell'intervallo 1.100-1.600°C, impedisce l'utilizzo di materiali convenzionali nella costruzione dei reattori e complica notevolmente la gestione e il controllo del reattore solare.

Nell'ambito del progetto TEPSI si è scelto di approfondire lo studio del ciclo delle ferriti miste, proposto per la prima volta da Tamaura [16]. Questo ciclo prevede l'utilizzo, unitamente alla ferrite di manganese, di carbonato di sodio (figura 7).

L'attività ENEA ha permesso di sviluppare materiali compositi costituiti da ferriti di manganese nanoparticellate (2-20 nm) e carbonato di sodio che hanno mostrato reattività chimica stechiometrica a 750°C, valore di temperatura sensibilmente inferiore agli altri cicli [17, 18, 19, 20, 21, 22]. La possibilità di operare a temperature più basse comporta una serie di benefici, quali il miglioramento del rendimento ottico e termico dell'impianto, la ridu-



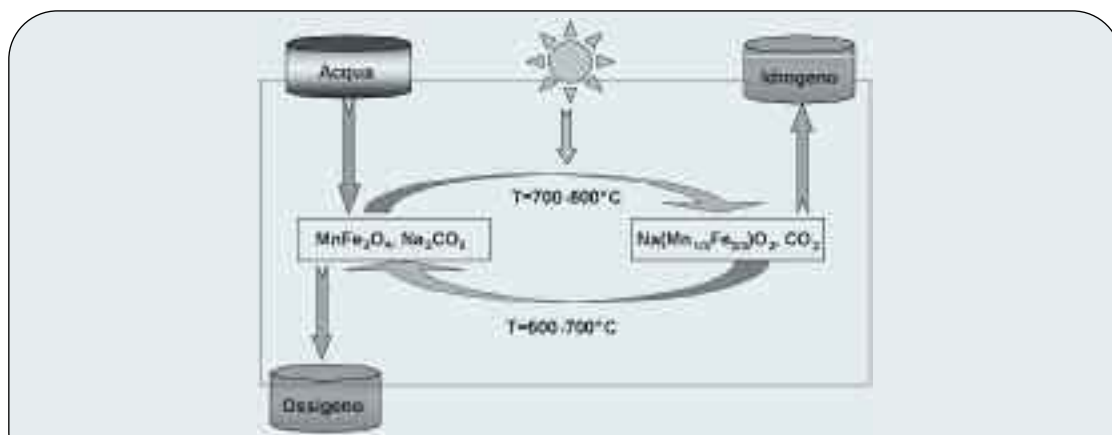


Figura 7
Schema del ciclo termochimico ferriti miste

zione degli stress termomeccanici del reattore solare, e l'uso di materiali più convenzionali per la sua realizzazione. Il lavoro attualmente in corso presso i laboratori ENEA riguarda sia aspetti teorici, legati allo studio dei meccanismi di reazione e delle cinetiche di evoluzione di idrogeno e di ossigeno necessarie al dimensionamento di un reattore chimico, sia la stabilizzazione in matrice inerte dei nanocompositi reagenti al fine di aumentare il numero di cicli. Successivamente l'attività di ricerca sarà incentrata sullo sviluppo di un reattore chimico alimentato da sistemi solari a concentrazione.

Il progetto dell'ENEA: obiettivi

Come precedentemente menzionato, nell'ambito del progetto TEPSEI, l'ENEA si propone di realizzare, per la prima volta in Europa, due impianti completi in scala di laboratorio a dimostrazione della fattibilità scientifica del ciclo S-I e del ciclo ferriti miste. In aggiunta è in fase di sviluppo un prototipo di ricevitore solare cui accoppiare i suddetti cicli. Il target previsto per la capacità di ciascun impianto è 10 litri/ora di idrogeno e il progetto dovrebbe arrivare a compimento nel 2009.

Tema di ricerca	Personale ENEA
Ciclo S-I: sezione iodidrica, sezione di Bunsen	Bimbi L. ¹ , Caputo G. ¹ , Ceroli A. ¹ , Favuzza P. ¹ , Felici C. ¹ , Giaconia A. ¹ , Lanchi M. ¹ , Liberatore R. ¹ , Sau S. ¹ , Spadoni A. ¹ , Tarquini P. ¹
Ciclo S-I: sezione solforica	Barbarossa V. ² , Diamanti M. ² , Ricci G. ²
Ciclo Ferriti Miste	Alvani C. ³ , Bellusci M. ³ , La Barbera A. ³ , Padella F. ³ , Seralessandri L. ³ , Varsano F. ¹
Ciclo S-I: Bunsen elettrochimica, separazioni per elettrodialisi)	Pozio A. ⁴ , De Francesco M. ²
Ciclo S-I: sviluppo membrane per separazione idrogeno	Tosti S. ⁵

¹ TER-SOLTERM ² TER-ENEIMP ³ FIM-MATCOMP ⁴ TER-IDROCOMB ⁵ FPN-TEC



Altro fondamentale obiettivo è l'ottimizzazione dell'efficienza termica dei cicli in modo da ridurre il costo finale di produzione dell'idrogeno e renderli maggiormente competitivi con i processi di elettrolisi dell'acqua alimentati da energia elettrica prodotta da fonti rinnovabili.

Il raggiungimento di questi obiettivi richiede un lavoro articolato e complesso, che spazia da studi teorici a sperimentazioni in laboratorio, dallo studio dei materiali, all'ingegnerizzazione degli schemi di processo, e che si avvale della collaborazione di diversi gruppi ENEA (vd. spazio dedicato a pag. 48) oltre che di alcune importanti università italiane (Politecnico di Milano, Università "La Sapienza" di Roma, Università Roma Tre, Università di Trento, Università di Cagliari).

Brevetti

Uno dei primi risultati del progetto TEPsi è stato l'individuazione di versioni modificate dei cicli termochimici di potenziale interesse industriale nel breve termine. A fronte di questa attività parallela sono stati depositati dall'ENEA numerosi brevetti.

Riportiamo brevemente, a titolo di esempio, il contenuto di alcuni recenti brevetti riguardanti la produzione di idrogeno a partire da composti solforati [23] e la produzione combinata di idrogeno e metanolo [24].

Idrogeno e metanolo dal ciclo S-I: un'applicazione per il medio termine

Se per il lungo termine l'obiettivo dell'attività ENEA sui cicli termochimici è la produzione di idrogeno interamente dall'acqua e dal sole, per il breve termine è realistico pensare ad un processo ibrido, alimentato contemporaneamente dall'energia solare e dalla fonte fossile.

Questa soluzione permette di svincolare la parte del processo a più alta temperatura (850°C) dalla tecnologia solare del ricevitore a torre, che ancora è in fase di sviluppo, fornendo calore con un convenzionale forno a metano.

Il contenuto del brevetto ENEA riguarda l'elaborazione di un processo ibrido, basato sul ciclo termochimico S-I, in cui i fumi di combustione del metano vengono utilizzati per convertire in metanolo parte dell'idrogeno prodotto.

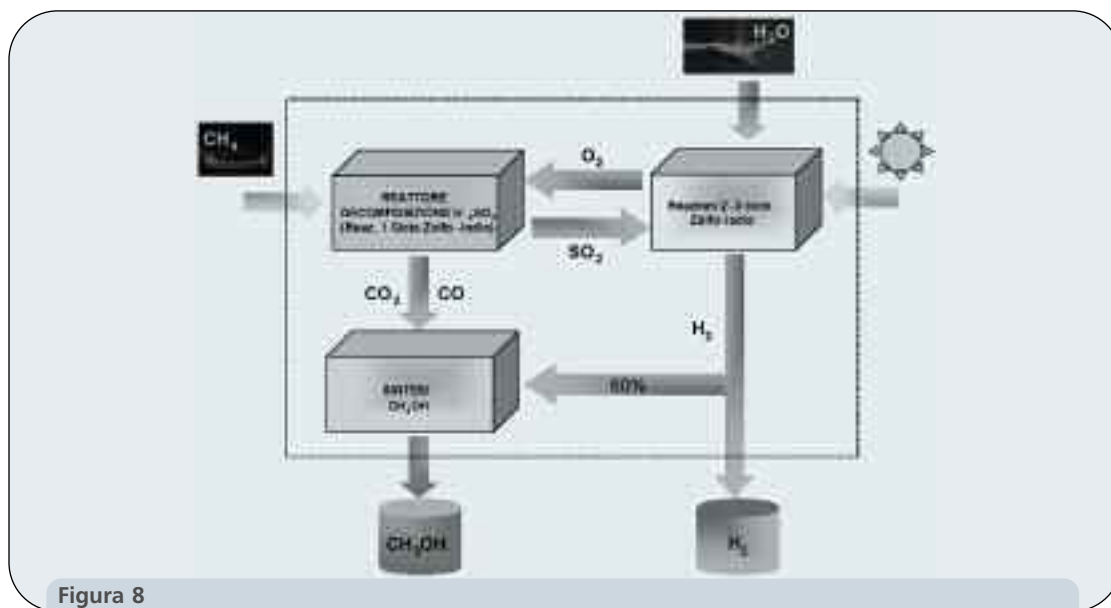


Figura 8
Schema del processo di produzione combinato idrogeno-metanolo

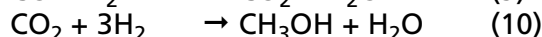
Quest'ultimo è un combustibile liquido molto pregiato, con un elevato potere calorifico e un contenuto intrinseco di anidride carbonica nettamente inferiore rispetto agli idrocarburi liquidi tradizionali, e può perciò svolgere in maniera efficace il ruolo di stoccaggio chimico dell'idrogeno.

Il processo, schematizzato in figura 8, è composto principalmente da una sezione di produzione dell'idrogeno (ciclo S-I) e una di sintesi del metanolo, costituita principalmente dai seguenti gruppi di reazioni:

reazioni di combustione del metano:



reazioni di produzione del metanolo:



Parte dell'idrogeno prodotto dal ciclo S-I, circa il 60%, viene fatta reagire con i fumi derivanti dalla combustione del metano nella sezione di sintesi del metanolo (reazioni 8-10).

Di fatto, per ogni mole di acqua introdotta nel processo, si ottengono in

uscita 0,4 moli di idrogeno e 0,25 moli di metanolo che, come vettore energetico liquido, può essere accumulato e veicolato con le attuali infrastrutture di trasporto e distribuzione.

Idrogeno da composti solforati: un'applicazione immediata del ciclo S-I

Di recente è stata oggetto di brevetto un'altra interessante applicazione del ciclo zolfo-iodio, che consiste in un processo per la desolforazione dei prodotti di combustione derivanti da combustibili fossili contenenti zolfo. Sostanze inquinanti, quali i composti solforati sono generalmente presenti nei reflui gassosi degli impianti termoelettrici e delle raffinerie e vengono perciò sottoposti a trattamenti specifici per l'abbattimento, in modo da rispettare i limiti delle emissioni fissate dalla normativa ambientale. In aggiunta l'uso di combustibili di minor pregio, ovvero ad alto contenuto di zolfo, è destinato ad aumentare nei prossimi decenni per la limitatezza delle risorse e l'aumento della domanda globale di energia: un esempio è il carbone del Sulcis, con tenore di zolfo che può arrivare al 6-8%.

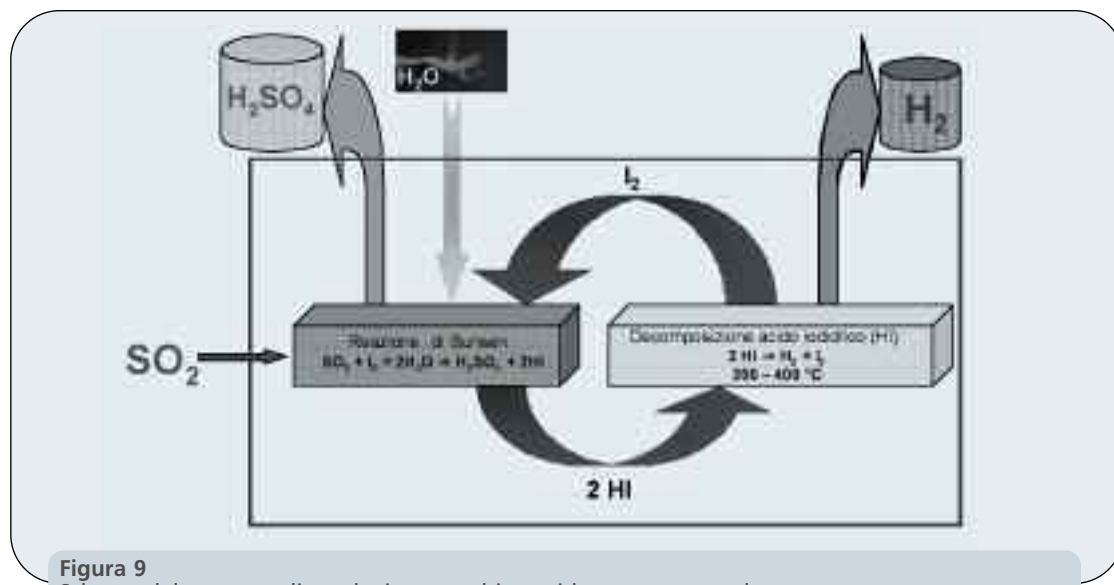


Figura 9 Schema del processo di produzione combinato idrogeno-metanolo



Attualmente la SO_2 proveniente dalla combustione dei composti solforati viene abbattuta in costosi impianti che generalmente producono notevoli quantità di gesso (solfato di calcio), il cui smaltimento risulta in molti casi problematico e dispendioso.

Con la tecnologia sviluppata e brevettata dall'ENEA, invece, i prodotti finali di lavorazione sono essenzialmente acido solforico concentrato e idrogeno (figura 9).

Il processo consente pertanto di soddisfare due tra le più importanti esigenze dell'industria chimica ed energetica in campo ambientale: contenere in modo quantitativo le emissioni di gas inquinanti (grazie all'altissima efficienza di conversione della SO_2 nel reattore utilizzato nel ciclo termochimico) e produrre idrogeno puro, il quale verrà utilizzato come reagente chimico o vettore energetico. L'altro prodotto ottenuto, ossia l'acido solforico concentrato ad elevato grado di purezza, è facilmente stoccabile e di discreto valore commerciale. Il costo di produzione dell'idrogeno da una valutazione preliminare sembra essere estremamente competitivo.

Da una prima stima, considerando la quantità di combustibili fossili (liquidi e solidi) utilizzata in Italia nel 2006, e assumendo un contenuto medio in peso di zolfo di circa l'1%, si può valutare la potenziale produzione di idrogeno pari a circa 100.000 tonnellate per anno, corrispondente a circa il 10% della produzione annua nazionale. Se in futuro il consumo di combustibili meno pregiati e con più alto contenuto di zolfo dovesse crescere, la quantità di idrogeno prodotto potrebbe essere anche superiore.

Previsione dei costi di produzione

Per una valutazione dei costi di produzione dell'idrogeno da ciclo zolfo-

iodio solare è stato realizzato uno studio di fattibilità tecnico-economico i cui risultati hanno condotto a stimare un costo di produzione di 5-6 €/kg [25, 26] per un primo impianto installato in Italia della capacità produttiva di circa 100 ktep equivalenti. Il costo dell'idrogeno termochimico-solare attualmente si colloca tra 5-6 volte il costo dell'idrogeno prodotto da tecnologie già mature e consolidate come il reforming con vapore del gas naturale (0,58-1,02 €/kg) [27].

Tuttavia in un futuro non troppo remoto (probabilmente entro il 2030) si assisterà a una inversione dei prezzi a favore dell'idrogeno termochimico-solare per effetto di due fattori concomitanti.

Da una parte il costo dei combustibili convenzionali (con l'esclusione, forse, del solo carbone, che è indubbiamente la fonte fossile più abbondante ma inquinante) è destinato a crescere in modo graduale ma inesorabile negli anni a venire, anche a causa dell'eventuale sovrapprezzo associato alla sequestrazione e al confinamento stabile dell'anidride carbonica come contromisura all'emissione dei gas serra (vd. figura 4 per la quantificazione delle emissioni di CO_2 associate ai diversi processi di produzione dell'idrogeno).

Dall'altra il costo dell'idrogeno dall'idrolisi termochimica è destinato a ridursi considerevolmente nei prossimi anni grazie alla maturazione e alla diffusione della tecnologia solare, che attualmente rappresenta la voce di spesa più alta (circa i 2/3 dell'intero costo) [25, 26].

La tecnologia solare ad alta temperatura, infatti, non è ancora consolidata su larga scala e solo poche industrie specializzate sono attualmente in grado di costruire componenti e impianti

ti. Con l'aumento della domanda e dell'offerta è prevedibile un significativo abbattimento dei costi, come sempre avviene in ogni passaggio di scala. Ipotizzando di ottenere una riduzione dei costi della tecnologia solare del 50% [28, 29], il costo dell'idrogeno da cicli termochimici solari dovrebbe collocarsi a valori inferiori a 4 €/kg.

Conclusioni

La linea di ricerca ENEA sui cicli termochimici si configura come una risposta ambiziosa alle problematiche urgenti dell'approvvigionamento di energia e della salvaguardia dell'ambiente, che gradualmente stanno diventando cruciali per l'Italia e per l'intero pianeta. Utilizzare le risorse rinnovabili, ampiamente disponibili in Italia, per produrre idrogeno "pulito" e/o elettricità da integrare alle fonti fossili è un passaggio più che obbligato.

I cicli termochimici per la produzione di idrogeno dall'acqua sono studiati in maniera intensiva solo da pochi anni, ma da un punto di vista scientifico i risultati sono inequivocabilmente incoraggianti, anche se il loro sviluppo richiede ancora molto lavoro in termini di ricerca sui materiali e ottimizzazione di processo. Da un punto di vista economico, pur essendo i cicli termochimici attualmente non competitivi con i processi convenzionali, per il prossimo futuro è possibile prevedere una inversione dei costi a favore dell'idrogeno prodotto dall'acqua e dal sole (probabilmente a partire dal 2020).

Infatti, se da una parte l'incremento stimato del costo delle fonti fossili implicano un *trend* in crescita anche per il costo dell'idrogeno da processi tradizionali, dall'altra il costo dell'idrogeno da cicli termochimici alimentati

da energia solare è destinato a ridursi per effetto dello sviluppo e della diffusione delle tecnologie solari.

Il fattore economico, unitamente agli indubbi vantaggi ambientali, inducono pertanto a riservare una sempre maggiore attenzione alla ricerca e allo sviluppo di queste innovative tecnologie energetiche.

ENEA-Dipartimento Tecnologie per l'Energia, Fonti Rinnovabili e Risparmio Energetico, SOLTERM

Per informazioni
michela.lanchi@casaccia.enea.it

Bibliografia

[1] Funk J. A., (2001), "Thermochemical hydrogen production: past and present", *Int. J. Hydrogen Energy*, 26, 185-190.

[2] Kubo S., Nakajima H., Kasahara S., Higashi S., Masaki T., Abe H., Onuki K., (2004), "A demonstration study on a closed-cycle hydrogen production by the thermochemical water-splitting iodine-sulfur process", *Nuclear Engineering and Design*, 233, 347-354.

[3] Kubo S., Kasahara S., Okuda H., Terada A., Tanaka N., Inaba Y., Ohashi H., Inagaki Y., Onuki K., Hino R., (2004), "A pilot test plan of the thermochemical water-splitting iodine-sulfur process", *Nuclear Engineering and Design*, 233, 355-362.

[4] Brown L.C., Besenbruch G.E., Lentsch R.D., Schultz K.R., Funk J.F., Pickard P.S., Marshall A.C., Showalter S.K., (2003), "High Efficiency Generation of Hydrogen Fuels Using Nuclear Power." General Atomic Project 30047.

[5] Sakurai M., Nakajima H., Onuki K., Shimizu S., (2000), "Investigation of 2 liquid phase separation characteristics on the iodine-sulfur thermochemical hydrogen production process". *Int. J. Hydrogen Energy*, 25, p.605-611.

[6] Roth M., Knoche K.F., (1989), "Thermochemical Water Splitting Through Direct HI Decomposition from H₂O/HI/I₂ Solutions." *Int. J. Hydrogen Energy*, 14, 545-549.

[7] Sakurai M., Nakajima H., Onuki K., Ikenoya K., Shimizu S., (1999), "Preliminary process analysis for the closed cycle operation of the iodine-



sulfur thermochemical hydrogen production process", *Int. J. Hydrogen Energy*, 44, 603-612.

[8] Goldstein S., Borgard J. M., Vitart X., (2005), "Upper bound and best estimate efficiency of the iodine sulphur cycle", *Int. J. Hydrogen Energy*, 30, 619-626.

[9] Solar Hydrogen Generation Project <http://sh-gr.unlv.edu>.

[10] HYDROSOL-Catalytic monolith reactor for Hydrogen generation from solar water splitting ENK6-CT-2002.

[11] Barbarossa V., Diamanti M., Visentin V., (2004), "An experimental and numerical study on H₂SO₄ thermal decomposition", *Chemical Engineering Transactions*, 4, 223.

[12] Barbarossa V., Brutti S., Diamanti M., Sau S., De Maria G., (2006), "Catalytic thermal decomposition of sulphuric acid in sulphur-iodine cycle for hydrogen production", *Int. J. Hydrogen Energy*, 31, 883.

[13] Brutti S., Bencivenni L., Barbarossa V., Sau S., De Maria G., (2006), "Gas phase dissociation of H₂SO₄: a computational study", *J. Chemical Thermodynamics*, 38, 1292.

[14] Giaconia A., Caputo G., Ceroli A., Diamanti M., Barbarossa V., Tarquini P., Sau S., (2007), "Experimental study of two phase separation in the Bunsen section of the sulfur-iodine thermochemical cycle", *Int. J. Hydrogen Energy*, 32, 531-536.

[15] Metelli E., Vignolini M., (2005), "Energia solare termica a concentrazione", *Energia, Ambiente e Innovazione*, vol. 51.

[16] Tamaura Y., Ueda Y., Matsunami J., Hasegawa N., Nezuka M., Sano T., Tsuji M., (1999), "Solar hydrogen production by using ferrites", *Solar Energy*, 65, (1), 55-57.

[17] Alvani C., Ennas G., La Barbera A., Marongiu G., Padella F., Varsano F., (2005), "Synthesis and characterization of nanocrystalline MnFe₂O₄: advances in thermochemical water splitting", *Int. J. Hydrogen Energy*, 30, 1407-1411.

[18] Padella F., Alvani C., La Barbera A., Ennas G., Liberatore R., Varsano F., (2005), "Mechanosynthesis and process characterization of nanostructured manganese ferrite", *Materials Chemistry and Physics* 90, 172-177.

[19] Alvani C., La Barbera A., Ennas G., Padella F., Varsano F., (2006), "Hydrogen production by using

manganese ferrite: Evidences and benefits of a multi-step reaction mechanism", *Int. J. Hydrogen Energy*, 31, 2217 – 2222.

[20] Seralessandri L., Varsano F., La Barbera A., Padella F., (2006), "On the oxygen-releasing step in the water-splitting thermochemical cycle by MnFe₂O₄-Na₂CO₃ system", *Scripta Materialia*, 55, 875-877.

[21] Padella F., Alvani C., La Barbera A., Ennas G., Petrucci L., Colella C., "Materiali ferritici nanostrutturati per la produzione di idrogeno dall'acqua." Pat. RM2003A000322.

[22] Alvani C., Ennas G., La Barbera A., Padella F., Varsano F., "Procedimento Termolitico per la Produzione di Idrogeno dall'Acqua mediante Miscela Reagenti di Ferriti Miste e Carbonati", Pat. RM2004A000440.

[23] Tarquini P., Lanchi M., Liberatore R., Sau S., "Processo Zolfo-Iodio ad Alimentazione Mista Metano-Energia Solare per la Produzione Combinata di Metanolo ed Idrogeno", Pat. RM2005A000122.

[24] Vignolini M., Tarquini P., Giaconia A., Caputo G., Sau S., Felici C., "Processo per l'abbattimento di composti solforati e contemporanea produzione di idrogeno e acido solforico e/o zolfo", Pat. RM2008A000708.

[25] Giaconia A., Grena R., Lanchi M., Liberatore R., Tarquini P., (2007), "Hydrogen/methanol production by sulfur-iodine thermochemical cycle powered by combined solar/fossil energy", *Int. J. Hydrogen Energy*, 32, 469-481.

[26] Giaconia A., Grena R., Lanchi M., Liberatore R., Tarquini P., (2005), "Analisi dei consumi energetici, del rendimento e dei costi del processo Zolfo-Iodio ad alimentazione mista metano – energia solare con produzione combinata di metanolo ed idrogeno", ENEA/SOL/RS/2005/01.

[27] Lipman T.E. (2004), "What Will Power the Hydrogen Economy? Present and Future Sources of Hydrogen Energy", UCD-ITS-RR-04-10, Institute of Transportation Studies – University of California, July 2004.

[28] Liberatore R., Mattucci A., Tarquini P., (2006), "Scenari europei di approvvigionamento dell'idrogeno e possibile apporto del Nord Africa", *Energia Ambiente e Innovazione*, 52, n. 6, 59-75.

[29] Cost Reduction study for solar thermal power plants, Report prepared for the World Bank, Washington DC 1999.

Brachiterapia dermatologica per la cura dei carcinomi della pelle

Antioco Franco Sedda*, Gabriele Rossi *,
Cesidio Cipriani **

Le moderne tecniche di trattamento fotodinamico e radioterapico per la cura dei tumori della pelle, pur essendo forme di trattamento preziose, presentano alcuni svantaggi. L'ENEA e l'Ospedale S. Eugenio hanno messo a punto una nuova metodologia per la cura di basiliomi e spinaliomi con risultati clinici eccellenti



I tumori della pelle sono quelli più frequenti nella popolazione bianca; l'11% dei tumori maligni totali diagnosticati sono tumori cutanei.

I tumori cutanei più diffusi sono, nell'ordine, il carcinoma basocellulare (o basalioma), il carcinoma spinocellulare (o spinalioma, o carcinoma a cellule squamose), che originano spesso da lesioni precancerose benigne, come le cheratosi solari e il melanoma.

Il carcinoma basocellulare costituisce l'80% dei casi di tumore cutaneo, ed è il tumore in assoluto più frequente nell'uomo; l'Australia costituisce il paese al mondo con la maggiore diffusione, e certe regioni mostrano una incidenza del 2% all'anno! Si presenta come neoplasia epiteliale della cute che si sviluppa di solito su viso e collo, più raramente sul dorso, ed è visibile come una singola macchia rossastra rilevata, talvolta con una superficie perlacea, che si accresce lentamente, finché inizia a sanguinare.

Raramente origina metastasi, ma può estendersi oltre lo strato del derma, causando danni anche gravi ai tessuti vicini; non di rado presenta recidive locali, anche

Dermatological brachytherapy for the treatment of skin cancer

Modern photodynamic and radiotherapeutic methods used to treat skin cancer, though precious, have some disadvantages. ENEA and the Sant'Eugenio Hospital have developed a new methodology for the treatment of basilomas and spinaliomas, with excellent clinical results



multiple, e si presenta anche in forme disseminate.

Il carcinoma a cellule squamose è una neoformazione maligna, inizialmente localizzata, che si sviluppa dall'epitelio squamoso, caratterizzata da cellule cubiche e cheratinizzazione, che appare di solito come escrescenza rossastra su viso, orecchie, collo, scalpo (specie in individui calvi) e dorso. Può dare luogo ad estesa ulcerazione, accrescere notevolmente anche in tempi brevi, origina metastasi nel 2% - 5% dei casi, e spesso presenta recidive locali. Anche per tale tumore l'Australia costituisce il paese più colpito, con una frequenza di circa 1%. Sia il carcinoma spinocellulare che quello basocellulare sono tumori che, se non trattati tempestivamente, corrodono l'epitelio e penetrano in profondità nel derma fino ad interessare il periostio o addirittura l'osso.

La terapia di elezione per questo tipo di tumori viene generalmente considerata quella chirurgica e consiste nell'asportazione del tumore con un margine di resezione abbastanza ampio, per essere certi della totale escissione e per ridurre al minimo il rischio di recidiva.

Se si è affetti da un basalioma, in particolare di tipo piano, invece di ricorrere alla chirurgia, si può tentare la via della terapia medica topica (chemio-immunoterapia), che richiede l'applicazione sulla lesione di una speciale sostanza farmacologica (imiquimod, tazarotene), per diversi mesi (da tre a sei mesi) Si tratta dunque di una cura lunga che assicura una guarigione al massimo nell'80% dei casi.

In alternativa si può ricorrere alla terapia fotodinamica, in cui una sostanza fotosensibilizzante viene applicata sulla lesione, e attivata mediante una lampada ad alta intensità; il trattamento viene ripetuto più volte, ma non sempre può essere continuato, a causa del sopraggiungere di sensibilizzazioni e intolleranze dolorose. Anche in questo caso la percentuale di guarigioni si aggira al massimo intorno all'80%.

Tutti questi trattamenti sono utili nel caso di basaliomi piani non ricorrenti, ma non sono indicati per le formazioni cistiche, nodulari e infiltranti.

Anche la terapia chirurgica, benché molto efficace e diffusa, presenta alcune importanti limitazioni.

In primo luogo, dato che le lesioni prodotte dai tumori della pelle sono ubiquitarie, cioè possono interessare più zone e non comparire simultaneamente, l'intervento non sempre risolve i problemi in via definitiva. Talvolta inoltre si hanno recidive locali, anche multiple, con una percentuale intorno al 10%. Infine, poiché i margini di escissione prescritti vanno da 1 a 2 cm oltre la lesione, si hanno spesso risultati estetici altamente insoddisfacenti, il che può comportare anche la necessità di reimpianto di cute o, in casi estremi, addirittura una protesì.

Pensiamo al caso del naso, del labbro, di un orecchio, ma anche al caso, osservato personalmente, in cui un piccolo basalioma del canto oculare trattato chirurgicamente ha comportato la perdita del globo oculare.

Altra possibile terapia è la radioterapia con fasci esterni, ma – nonostante la elevata precisione raggiungibile con le macchine moderne – il margine e la profondità dell'irraggiamento non sono sufficientemente precisi sia longitudinalmente sia in profondità, come sarebbe auspicabile. Per questo la radioterapia non può essere utilizzata in zone tanto delicate come quelle del viso, e oramai, tranne rarissimi casi, è stata abbandonata.

Ognuna delle terapie menzionate quindi presenta dei limiti riconosciuti, spesso pesantemente vincolanti.

Materiali e metodi

Al fine di superare le limitazioni dei metodi sopra citati è stata messa a punto nei laboratori ENEA e presso il Reparto di Medicina Nucleare dell'Ospedale S. Eugenio-Ro-



ma, una metodologia per la terapia radiante di basaliomi e spinaliomi, successivamente coperta da una comune protezione brevettuale.

Tale tecnica consiste essenzialmente in una radioterapia superficiale, caratterizzata dall'uso di isotopi beta emittenti. Il primo stadio consiste nell'ottenere una dispersione di nanocolloidi sterili mediante un processo di precipitazione chimica a nucleazione controllata a partire da una soluzione di isotopi beta emittenti (^{32}P , ^{188}Re , ^{90}Y). A loro volta gli isotopi vengono ottenuti da generatori isotopici commerciali, oppure di concezione e fabbricazione originale. Ai nanocolloidi così ottenuti si effettua una addizione di una resina inerte opportunamente formulata, in grado di miscelarsi omogeneamente al precipitato radioattivo, e di tenerlo in sospensione.

La resina, ottenibile in film sottili, è atossica e priva di solventi, riesce ad adattarsi anche a superfici irregolari, impartendo un'accurata distribuzione di dose alla lesione, e indurisce *in situ* senza apprezzabile variazione dimensionale. La pelle viene protetta con uno strato sottile, accuratamente noto, di una pomata appositamente formulata (componente idrofila/idrofoba), non assorbibile, ma in grado di aderire sia alla pelle che alla resina sovrastante, mirata a prevenire una possibile contaminazione dell'epidermide. Infine viene applicato un terzo strato, a ricoprire i precedenti, e costituito da materiale di rivestimento formante un film impermeabile, a protezione del multistrato. Tutti gli spessori sono misurati con accuratezza, al fine di calcolare i contributi di assorbimento e di autoassorbimento dei materiali matrice sulle particelle beta.

Il trattamento, ufficialmente autorizzato e riconosciuto dal Ministero della Salute, viene praticato presso il Reparto di Medicina Nucleare dell'Ospedale S. Eugenio-Roma, con pazienti provenienti da varie strutture ospedaliere, principalmente i Reparti

di Dermatologia e di Chirurgia Plastica dell'Ospedale Militare del Celio-Roma, del Policlinico Tor Vergata-Roma, dell'Ospedale S. Gallicano-IFO-Roma, del Reparto di Chirurgia Plastica dello stesso S. Eugenio; negli ultimi sei anni sono stati trattati oltre 120 pazienti, affetti da basaliomi e spinaliomi in vari distretti corporei, per la maggior parte in forme particolarmente aggressive o recidivanti, spesso multifocali.

Elementi di dosimetria

La distribuzione di dose delle particelle beta nel corpo umano è fondamentalmente descritta da una funzione multiesponenziale della forma

$$D(x) = \frac{K (c(1-vx) e^{-1-(vx/c)} + vx e^{-1-(vx/c)})}{(vx)^2 c}$$

dove $(1-vx e^{-1-(x/c)}) = 0$ per $x > c/v$, $D(x)$ è il "dose rate" alla distanza x dalla sorgente puntiforme, v è il coefficiente di assorbimento, k una costante di normalizzazione, c un parametro dimensionale che dipende dall'isotopo.

Vinkyer et al., e Sedda et al. hanno proposto varie modificazioni della formula su riportata, al fine di aumentare l'accuratezza della distribuzione di dose a distanze comparabili con il "range" terapeutico massimo delle particelle beta.

Le curve di distribuzione di dose impartite sono calcolate per integrazione di sorgenti piane "multi point source", validate con calcoli MONTECARLO (software EGS4). L'accordo tra i valori di dose ottenuti con i vari modelli si aggira intorno al 5% circa.

Per ogni data geometria di irraggiamento, la distribuzione di dose dipende quindi solo dall'isotopo utilizzato, dalla attività iniziale e dal tempo di contatto (figura 1).

Trattamenti

Una corte di 53 pazienti con diagnosi istologicamente confermata di basalioma (37



pazienti) e di spinalioma (16 pazienti) è stata arruolata per il trattamento, scegliendo quei casi in cui era presente una recidiva, oppure in cui un'operazione chirurgica sarebbe stata impossibile, o inaccettabile esteticamente e/o funzionalmente. Tale sottogruppo si riferisce ai pazienti con un "follow up" sufficientemente lungo (> 18 mesi). Un esame dermoscopico e una caratterizzazione istologica dell'area della lesione sono state effettuate per definire area, profondità e margini della lesione tumorale. Un'estesa documentazione fotografica è stata raccolta prima e, dopo i trattamenti, in corso di guarigione.

La maggior parte delle lesioni erano presenti su testa e collo, ma erano presenti anche una decina di casi di formazioni multifocali su dorso e gambe, cinque spinaliomi del glande e tre lesioni vulvari. Dosi tra 40 e 60 Gy sono state impartite a una profondità tra 250 e 600 micron dall'epidermide, in funzione delle indicazio-

ni istologiche e dermatologiche; un bordo di 1-3 millimetri di tessuto apparentemente sano è stato incluso nell'area di irraggiamento, al fine di depositare una dose relativamente omogenea alla stessa profondità sul bordo esterno della lesione tumorale.

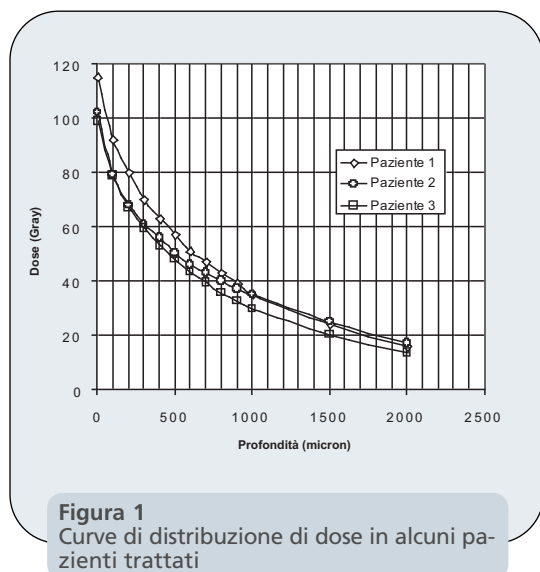
Le attività usate per ogni irraggiamento variano tra 40 MBq per le lesioni minori fino a 2000 MBq per le formazioni più estese, con tempi di applicazione variabili da poche decine di minuti ad oltre due ore, in funzione dei parametri dosimetrici scelti di volta in volta.

Risultati

Dopo il trattamento, sulle lesioni trattate si sviluppa un lieve eritema, che di regola scompare dopo circa 5-7 giorni. Dopo 10-20 giorni le ulcerazioni e il sanguinamento, presenti spesso in queste lesioni tumorali, solitamente cessano, e inizia un graduale processo di apparente guarigione clinica della lesione. La maggior parte dei pazienti sono stati sottoposti ad un solo trattamento; in alcuni casi sono stati necessari due o anche tre trattamenti, in particolare sui tumori a maggiore spessore (vd. tabella in basso).

Talvolta un chiaro sviluppo neoangiogenico era chiaramente visibile all'esame dermoscopico sull'area tumorale, specie negli spinaliomi; tale neoangiogenesi gradualmente è scomparsa dopo il trattamento, in un tempo di due-tre mesi.

In tutti i casi trattati un'apparente remissione clinica è avvenuta in circa tre mesi; nei casi in cui è stato necessario effettuare più di un trattamento, si è osservato un



Tumore	Basalioma	Spinalioma
Pazienti (n° di trattamenti)	32(1) 4(2) 1(3)	11(1) 4(2) 1(3)
Area media della lesione (\pm S.D.)	7.04 cm ₂ (\pm 8.9)	14.6 cm ₂ (\pm 10.6)

graduale appiattimento delle lesioni, fino a completa guarigione con le applicazioni successive.

Alcuni esempi di trattamento sono riportati nelle figure 2-5.

Dopo un "follow up" di 18-70 mesi, (mediana 49 mesi) si è ottenuta una guarigione completa nel 98% dei casi di carcinoma delle cellule basali, e del 100% nei casi di carcinoma a cellule squamose; nell'82% dei casi è stato sufficiente un singolo trattamento. Il 2% non risolto si riferisce a un singolo paziente con una formazione tumorale profonda, in cui il tumore superficiale è risultato istologicamente scomparso, ma persiste una formazione nodulare profonda, per cui si sta studiando un differente protocollo di applicazione terapeutica.

In nessun caso si sono formate cicatrici, né si sono osservati importanti effetti colla-

terali; dopo il trattamento il paziente viene inviato a casa senza ulteriori prescrizioni. Il "follow up" successivo include una visita dopo due settimane, uno, tre e sei mesi e, infine, una volta all'anno.

Non è mai apparso nessun effetto collaterale sistemico o locale, e non è stata osservata finora alcuna recidiva. È particolarmente interessante il fatto che si siano potute trattare non solo lesioni piane, ma anche forme nodulari, infiltranti, ulcerative e recidivanti. Nei pazienti in cui dopo il trattamento è stata eseguita una diagnosi istologica (il 60% circa) è sempre stata confermata la completa regressione tumorale.

Valutazioni e conclusioni

Si conviene generalmente che la chirurgia debba rappresentare il trattamento



Figura 2
Spinalioma della guancia a) prima del trattamento b) tre mesi dopo il trattamento



Figura 3
Basalioma dell'angolo della guancia (terza recidiva) a) prima del trattamento b) nove mesi dopo il trattamento



(a)



(b)

Figura 4
Basalioma del naso a) prima del trattamento b) sei mesi dopo il trattamento



(a)



(b)

Figura 5
Basalioma retroauricolare a) prima del trattamento b) otto mesi dopo il trattamento

di prima scelta nel trattamento dei basaliomi e spinaliomi, e che la radioterapia vada riservata alle forme in cui una completa escissione non sia praticabile, oppure sia presente una recidiva o una diffusione metastatica.

Terapie alternative alla chirurgia offrono vantaggi in termini clinici e di costo, specie in aree di difficile accesso chirurgico, o, come spesso accade in questa classe di tumori, in pazienti di età avanzata o con elevate morbidità. Spesso inoltre i pazienti considerano l'ottenimento di un buon risultato estetico come una variabile estremamente importante nella scelta del percorso terapeutico, specie nei casi di importanti lesioni al viso. I trattamenti con farmaci come imiquimod o tazarotene forniscono nei casi fa-

vorevoli una risposta positiva tra 70% e 85% circa dei casi, ma non sono utilizzabili nel caso di lesioni non piane, e richiedono fino a 24 settimane di terapia. Nella terapia fotodinamica, talvolta mal tollerata per i suoi effetti collaterali, la percentuale di recidiva si presenta relativamente elevata (fino al 40%), sebbene diminuisca con il protrarsi dei trattamenti.

Le moderne tecniche di trattamento radioterapico e frazionamento di dose rappresentano una forma di trattamento estremamente preziosa nel campo oncologico, che può essere usata per trattare molte forme di cancro, ma nel caso dei tumori della pelle presenta delle limitazioni legate alla bassa accura-

tezza nella identificazione dei margini di trattamento, a causa della mancanza di collimatori "individualizzati".

I trattamenti con fotoni gamma e raggi x possono presentarsi problematici in aree come testa e collo, a causa della natura penetrante delle radiazioni utilizzate che non depongono un dose sufficientemente elevata in maniera selettiva sul sito della lesione tumorale.

Il trattamento con macchine acceleratrici di elettroni, che potrebbe a prima vista garantire una terapia soddisfacente, presenta alcune controindicazioni fondamentali, quali l'energia elevata del fascio, che risulta troppo penetrante in questa classe di tumori e, soprattutto, la impossibilità di disporre di collimatori con profilo specifico sulla singola lesione.

Vale infatti la pena di ricordare che la selettività di irraggiamento nel caso della terapia da noi utilizzata si aggira sulle frazioni di millimetro, e la curva di distribuzione di dose viene valutata in "step" di 100 micron.

Gli svantaggi presenti in tutte le terapie attuali rendono la tecnica terapeutica proposta decisamente attrattiva. Ricordiamo che in essa si fa uso di una sorgente di irraggiamento comprendente particelle beta inglobate in una matrice inerte (controllo della profondità), e che nel contempo la sorgente viene modellata sulla lesione (controllo dei margini di irraggiamento); si evitano in questo modo le due importanti controindicazioni delle radioterapie convenzionali.

Occorre notare che le curve di distribuzione di dose (figura 1) mostrano una diminuzione dei valori di dose impartita da valori di 100-120 Gy nominali all'epidermide fino a circa 20 Gy alla profondità di circa 2 mm, che rappresenta il valore considerato interessato dalla invasione in questa classe di tumori.

È apparentemente difficile spiegare

gli eccellenti risultati clinici con tale relativamente bassa dose impartita. Tuttavia una recente "review" retrospettiva effettuata su numerosi pazienti sottoposti a radioterapia convenzionale con raggi x, in distretti corporei adatti, ha mostrato che un ottimo risultato clinico è ottenibile con una dose di 20 Gy su lesioni piane. È inoltre noto che dosi minori di quelle necessarie a causare citolisi possono alterare il fenotipo tumorale e rendere le cellule tumorali maggiormente suscettibili a un attacco immune mediato dalle cellule T.

Per studiare il dato sono in corso di preparazione, insieme agli ospedali e università coinvolte nella sperimentazione clinica, una serie di esperimenti volti a determinare la radiosensibilità e l'efficacia biologica degli isotopi beta emittenti su alcune linee cellulari tumorali. È importante anche effettuare una misurazione accurata mediante tecniche di dosimetria fisica nel tessuto umano, misure che sono in corso di preparazione insieme a strutture ospedaliere con competenza specifica di fisica medica (Policlinico S. Camillo-Roma, Ospedale S. Giovanni-Roma). Riassumendo, si può dire che i risultati ottenuti con la tecnica descritta possono essere considerati pienamente soddisfacenti, malgrado il numero di pazienti relativamente ristretto.

La sperimentazione clinica prosegue con lo scopo di estendere la statistica di trattamento, e continuare contemporaneamente il "follow up", ma anche con la applicazione ad altre forme tumorali e non, che sembrano rispondere particolarmente ai trattamenti brachiterapici di superficie (dati non pubblicati).

La tecnica proposta dovrebbe pertanto essere considerata applicabile non solo in alternative alle metodiche mediche tradizionali, ma anche alla stessa chirurgia, avendo dimostrato la sua applicabilità sia ai basaliomi che agli spinolio-



mi, senza limitazioni di sito, dimensioni, tipo clinico o istologico, situazione clinica del paziente.

Il trattamento è rapido, indolore, effettuato in una unica sessione terapeutica, e offre una completa estetica e funzionale "restitutio ad integrum".

* ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

** Ospedale S. Eugenio-Roma, Medicina Nucleare

Per informazioni

antioco.sedda@casaccia.enea.it

Bibliografia

- Bianchi L, Orlandi A, Campione E., Topical treatment of basal cell carcinoma with tazarotene: a clinicopathological study on a large series of cases. *Br. J. Dermatol.* 2004; 151: 148-56.
- Cancer facts and figures. Atlanta: American Cancer Society, 2003.
- Chan S, Dhadda AS, Swindell R., Single fraction radiotherapy for small superficial carcinoma of the skin, *Clin Oncol (R Coll Radiol)*, 2007 May; 19 (4): 256-9.
- Gallagher RP, Hill GB, Bajdik CD, et All. Sunlight exposure, pigmentary factors, and risk of non melanocytic skin cancer. I. Basal cell carcinoma. *Arch. Dermatol.* 1995; 131: 157-63.
- Garcia L, Nagore E, Llombart B, Sanmartin O, Botella-Estrada R, Requena C, Jorda E, Guillen C. Basal cell carcinoma of the nasolabial fold: an apparently 'benign' tumour that often needs complex surgery *J. Eur Acad Dermatol Venereol.* 2006 Sep; 20 (8): 926-30.
- Geisse J, Caro I, Lindholm J Imiquimod 5% cream for the treatment of superficial basal cell carcinoma: results from two phase III, randomized, vehicle controlled studies. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2004; 50: 722-33.
- Lichter MD, Karagas MR, Mott LA, Spencer SK, et All. Therapeutic ionizing Radiation and the incidence of basal cell carcinoma and squamous cell carcinoma. *Arch. Dermatol.* 2000; 136: 1007-11.
- Martinez JC, Otle CC. The management of melanoma and non-melanoma skin cancer: a review for the primary care physician. *Mayo Clinic Proc.* 2001; 76: 1253-63.
- Nijsten TE, Stern RS. The increased risk of skin cancer is persistent after discontinuation of psoralen+ultraviolet A: a cohort study. *J. Invest. Dermatol.* 2003; 121: 252-8.
- Oseroff AR, Blumenson LR, Wilson BD, Mang TS, Bellnier DA, Parsons JC, Frawley N, Cooper M, Zeitouni N, Dougherty TJ. A dose ranging study of photodynamic therapy with porfimer sodium (Photofrin) for treatment of basal cell carcinoma *Lasers Surg Med.* 2006 June; 38 (5): 417-26.
- Peris K, Campione E, Micantonio T Imiquimod treatment of superficial and nodular basal cell carcinoma: 12 week open label trial. *Dermatol. Surg.* 2005; 31: 318-23.
- Petrovic D, Visnjic M, Mihailovich D, Petrovic S., Pesic Z, Margin size in basocellular skin carcinoma resection: impact on relapse, *Acta Fac. Med. Naiss.* 2004; 21 (4): 195-200.
- Sedda AF, Rossi G, Carrozzo AM, de Felice C, Cipriani C, Chimenti S. Superficial Brachytherapy with beta Emitting Isotopes for the Treatment of Basal Cell Carcinoma, 3rd Meeting of the European Association of Dermato-Oncology (EADO), Rome, 23-25 June 2006.
- Sedda AF, Rossi G, Cipriani C, Beta emitter multi-layer for the dermatological brachytherapy of cutaneous tumours, European Association of Nuclear Medicine - Annual Congress, Amsterdam, September 2003.
- Sedda AF, Rossi G, Desantis M, Cipriani C, Atzei G, Argirò G, Shukla SK, Boemi S. DOBBIN (*Distribution Optimization for Beta Brachytherapy Intratumour*): a program for geometrical optimization of beta brachytherapy interstitial administration. V Italian Congress of Nuclear Medicine, Pesaro (Italy) 17-20 June 2000.
- Tran H, Chen K, Shumack S, Epidemiology and aetiology of basal cell carcinoma, *Br. J. Dermatol.* 2003. 149 (Suppl. 66), 50-52.
- Triesscheijn M, Ruevekamp M, Antonini N, Nee-ring H, Stewart FA, Baas P, Optimizing Mesotetra-hydroxyphenyl-chlorin Mediated Photodynamic Therapy for Basal Cell Carcinoma. *Photochem Photobiol.* 2006 Nov-Dec; 82 (6): 1686-90.
- Vun Y, Siller G. Use of 5% imiquimod cream in the treatment of facial basal cell carcinoma: a 3-year retrospective follow-up study. *Australas J Dermatol.* 2006 Aug; 47 (3): 169-71.
- Vynckier S, Wambersie A. Dosimetry of beta sources in radiotherapy: absorbed distributions around plane sources. *Radat. Protect Dosim* 1986; 14(2): 169-173.



Nanocompositi polimero-silicati lamellari: preparazione ed applicazioni

Massimo Schwarz, Carmela Borriello,
Antonella De Maria

I nanocompositi polimero-silicati lamellari hanno destato l'interesse del mondo scientifico e industriale, sia perché offrono la possibilità di migliorare le proprietà dei polimeri utilizzando impianti e processi industriali già esistenti, sia per la economicità e reperibilità dei materiali di partenza



Layered polymer-silicate nanocomposites: preparation and applications

Layered polymer-silicate nanocomposites have attracted strong interest among industrial and scientific researchers, partly because they offer an opportunity to improve polymer properties without having to alter existing industrial equipment and processes, and partly because the starting nanoclays are widespread and inexpensive

Ormai da tempo più materiali vengono combinati per ottenerne di nuovi (compositi) che abbiano proprietà superiori a quelle dei singoli componenti di partenza. Le proprietà finali dei compositi sono funzione delle proprietà delle fasi costituenti, delle loro quantità relative e dipendono anche dalla geometria delle fasi disperse (forma, dimensione, distribuzione ed orientazione) [1]. Non è ovviamente possibile riunire i singoli benefici in un unico composito ma occorre trovare un giusto bilanciamento tra le proprietà che maggiormente interessano ed eventuali effetti indesiderati, quali ad esempio un più complesso comportamento reologico¹ ed una maggiore difficoltà di lavorazione.

Oggi la maggior parte dei materiali compositi è di tipo polimerico² [2] e può es-

1. La reologia è la scienza che studia e analizza le deformazioni nelle strutture solide o fluide soggette a scorrimento.

2. Un polimero (dal greco molte parti) è una molecola di dimensioni molto grandi, costituita da un gran numero di piccole molecole (i monomeri) unite a catena mediante la ripetizione dello stesso tipo di legame.



sere costituita da due o più fasi continue con reticoli interpenetranti, o da una matrice continua comprendente una o più fasi disperse (carica o filler) sia di natura organica che inorganica (minerali, fibre, metalli).

L'uso dei compositi polimerici in sostituzione dei semplici polimeri omogenei consente di ottenere maggiore rigidità, tenacità e resistenza all'urto, ridotta permeabilità a gas o liquidi, modificazione di proprietà termiche ed elettriche.

Nei compositi convenzionali la carica ha dimensioni microscopiche e fattore di forma variabile in un ampio intervallo di valori. Tuttavia, la disomogeneità della fase dispersa limita la possibilità di miglioramenti prestazionali del composito. Nel tentativo di superare tale limite la ricerca si è indirizzata verso compositi contenenti cariche che abbiano almeno una delle dimensioni nanometriche (nanofiller) [3].

L'utilizzo di ridotte quantità (percentuali in peso del 5-6%) di nanofiller aggiunto alla matrice polimerica, consente di ottenere prestazioni comparabili a quelle di un filler tradizionale presente in quantità maggiori del 20% in peso. Ciò consente di minimizzare effetti indesiderati, quali aumento della densità, diminuzione della processabilità, alterazione delle proprietà di resistenza all'urto e di aspetto superficiale del polimero.

Il vantaggio di sviluppare e disporre di tali materiali sarebbe molteplice per il mondo industriale e per la società in generale. Infatti, visto il largo uso e la grandissima diffusione dei polimeri (poliolefine, polivinilcloruro, poliammidi, resine epossidiche, fenoliche e poliesteri), costante è il tentativo di aumentarne le prestazioni per estenderne i settori applicativi, specialmente in quelli tecnologicamente avanzati.

Inoltre aumentando e modulando a piacere le *performance* di polimeri di uso

comune, si possono drasticamente ridurre le tipologie di polimeri necessari per le varie applicazioni; in questo modo, diffondendosi una serie di materiali con base polimerica comune, più facile sarà il riciclo di tali prodotti ed il loro recupero al ciclo produttivo.

Vi è un'ampia varietà di rinforzi cristallini sia naturali sia sintetici che possono essere opportunamente dispersi in un polimero.

Fra tutti i potenziali precursori dei nanocompositi quelli basati su silicati lamellari o argille sono stati studiati più estesamente [4], probabilmente perché i materiali argillosi di partenza sono facilmente reperibili.

Questa famiglia di compositi può essere classificata con il nome di nanocompositi polimero-silicati lamellari.

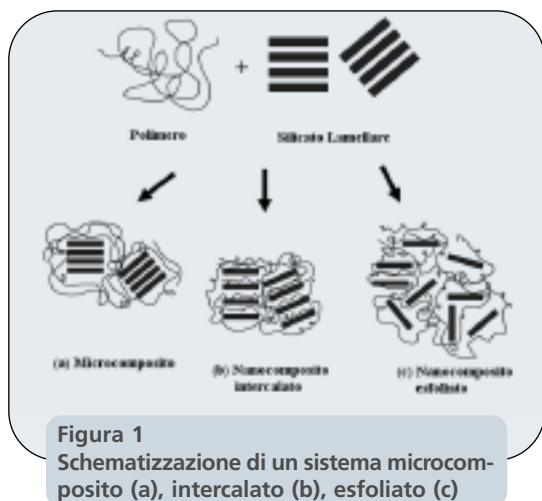
Nanocompositi polimero-silicati lamellari (PLSN)

I nanocompositi polimero-silicati lamellari sono caratterizzati dalla presenza, in seno alla matrice polimerica, di cariche inorganiche che presentano una struttura cristallina a strati (fillosilicati lamellari), ciascuno dei quali ha uno spessore dell'ordine del nanometro, assicurando così una nanostrutturazione di tipo lamellare al materiale ottenuto (il rapporto tra lunghezza e spessore della lamella è tipicamente dell'ordine di 1000 ed oltre).

In base alla natura dei componenti usati e al metodo di preparazione si possono ottenere diversi tipi di materiale: a *fasi separate* (figura 1a), quando il polimero non riesce ad inserirsi tra le lamine di silicato, rientrando nel caso dei compositi tradizionali; a *struttura intercalata* (figura 1b); a *struttura esfoliata o delaminata*, (figura 1c) [4]:

I *nanocompositi intercalati* sono costituiti da singole molecole di polimero insinuate tra i piani cristallini del fillosilicato che ven-





gono allontanati (generalmente di 1-4 nm), ma il silicato mantiene la sua ordinata struttura a strati. La morfologia finale è quella di un composito in cui la fase cristallina è sempre presente e non completamente dispersa nella fase plastica.

Nei *nanocompositi esfoliati* la penetrazione delle molecole di polimero è molto più estesa: la distanza tra le lamelle aumenta al punto da eliminare ogni interazione tra le lamelle stesse che, quindi, perdono il loro parallelismo, risultando orientate casualmente le une rispetto alle altre. La fase cristallina viene dunque distrutta così che si ottiene un'eccellente dispersione della carica nella matrice a cui corrispondono i massimi incrementi prestazionali possibili.

In realtà intercalazione ed esfoliazione sono casi estremi, ideali: in generale un sistema polimero/silicato lamellare sarà parzialmente intercalato e parzialmente esfoliato, potendosi avere ad esempio un contenuto aumento della distanza tra le lamelle (tipico di un intercalato) orientate però casualmente (come in un esfoliato) o, viceversa, lamelle molto distanziate ma disposte parallelamente le

une rispetto alle altre.

La prima notizia relativa all'ottenimento di un nanocomposito è del 1961 ed è attribuibile a Blumstein. Questi dimostrò l'avvenuta polimerizzazione di un monomero vinilico intercalato nella struttura di una montmorillonite (fillosilicato tra i più utilizzati per ottenere PLSN) [5]. Tuttavia, solo verso la fine degli anni ottanta, quando un gruppo di ricercatori della Toyota Central Research in Giappone [6] mise a punto un nanocomposito destinato alla realizzazione di un paraurti di automobile, si realizzarono le potenzialità di questi materiali. Le proprietà meccaniche del nuovo materiale presentavano un sostanziale incremento delle proprietà del polimero di base, mentre la resistenza ai solventi³ e alle benzine era pressoché raddoppiata. Si comprese, quindi, di non aver ottenuto un semplice composito, ma un materiale del tutto "nuovo" le cui proprietà andavano ricercate nelle peculiarità delle cariche impiegate.

Fillosilicati lamellari

Le caratteristiche che rendono i fillosilicati adatti alla preparazione di un nanocomposito sono essenzialmente due: le forze che tengono insieme le lamelle che li costituiscono sono deboli per cui queste possono essere separate più o meno facilmente consentendo l'introduzione del polimero tra le lamelle; i cristalli lamellari presentano all'interno dell'interstrato ioni⁴ positivi e negativi che, attraverso reazioni di scambio ionico, consentono di modificare la superficie del silicato.

Bisogna infatti tener presente che la preparazione dei nanocompositi polimerici è ostacolata dalla natura idrofobica⁵

3. Il solvente è una sostanza capace di scioglierne un'altra, detta soluto.

4. Una molecola o un atomo che hanno perso o guadagnato uno o più elettroni e sono, quindi, elettricamente carichi, vengono detti ioni.

5. Per idrofobico s'intende la proprietà fisica delle molecole di essere respinte dall'acqua.



del polimero rispetto a quella idrofila⁶ del nanofiller.

Il primo passo è, quindi, la preparazione del filler, che deve essere *compatibilizzato* per aumentarne il carattere idrofobico e favorirne l'adesione e la dispersione nella matrice polimerica (figura 2).

Gli agenti compatibilizzanti sono costituiti da un gruppo idrofilo, che si lega a gruppi polari come acqua e argilla, e uno idrofobico affine al polimero; quelli di uso comune sono gli amminoacidi, i silani e gli ioni alchilammonio [7].

L'argilla così "organomodificata" diviene decisamente più compatibile con la matrice polimerica, consentendo una distribuzione omogenea delle lamelle con nanostrutturazione del materiale.

Metodi di preparazione

L'efficienza di un processo e le proprietà che si desiderano ottenere in un materiale determinano la scelta del metodo di preparazione. I metodi di preparazione di nanocompositi polimero-silicati lamellari possono essere raggruppati in tre principali categorie [4] in base ai materiali di partenza ed alle tecniche di processo utilizzati:

- *intercalazione di polimero e prepolimero da soluzione;*
- *polimerizzazione intercalativa in situ;*
- *intercalazione-esfoliazione da fuso.*

Intercalazione di polimero e prepolimero da soluzione



Figura 2
Schematizzazione del processo di compatibilizzazione del fillosilicato (clay)

Il processo prevede che si prepari una soluzione⁷ del polimero in un dato solvente, si sospenda il silicato nello stesso solvente, si mescolino le due fasi in modo che il polimero si intercali tra gli strati di silicato, sostituendosi alle molecole di solvente. La successiva rimozione di quest'ultimo dà il nanocomposito polimero-silicato (figura 3a).

È quindi necessario utilizzare un solvente (generalmente acqua, toluene, cloroformio) in cui il polimero sia solubile ed il sili-

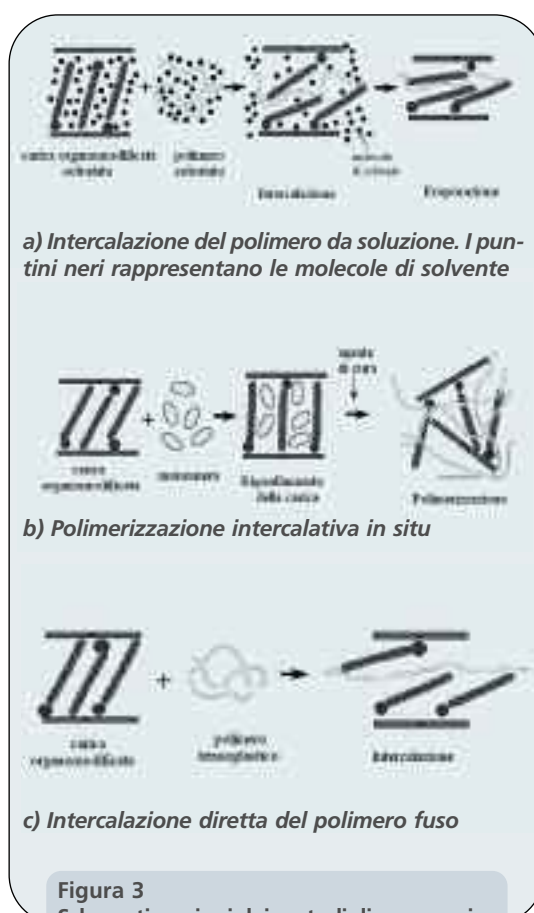


Figura 3
Schematizzazioni dei metodi di preparazione di un nanocomposito polimero-silicato lamellare

6. L'idrofilia è la proprietà fisica delle molecole a legarsi con l'acqua.

7. Per soluzione s'intende un sistema di due o più sostanze costituenti una sola fase. Esistono soluzioni gassose, liquide o solide, il cui componente prevalente è detto solvente, quello sciolto è chiamato soluto.

cato lamellare si sfaldi. I silicati lamellari, infatti, grazie alle deboli forze che tengono insieme gli strati possono essere facilmente dispersi in un adeguato solvente. Questa tecnica è stata ampiamente utilizzata per polimeri solubili in acqua come polivinilalcol [8], polietileneossido [9], polivinilpirrolidone [10], acido poliaccrilico [11].

Risultati interessanti si sono ottenuti anche utilizzando solventi organici: un esempio significativo ci è dato dal polietileneossido [12] che in acetonitrile si è intercalato con successo in sodio montmorillonite e sodio ectorite.

Nanocompositi a base di polietilene ad alta densità [13] si sono ottenuti in una miscela di xilene e benzonitrile utilizzando montmorillonite organomodificata. L'intercalazione dei polimeri da soluzione richiede quindi condizioni sperimentali diverse per ogni polimero in quanto ogni volta è necessario identificare adeguati sistemi nanofiller-polimero-solvente. Inoltre la necessità di estrarre il solvente può richiedere trattamenti termici sotto vuoto estremamente lunghi e costosi, inapplicabili a polimeri di rilevanza industriale. Infine bisogna considerare che l'impiego di solventi ha un costo da calcolarsi sia in termini di materie prime sia di smaltimento e impatto ambientale.

Polimerizzazione intercalativa in situ

La polimerizzazione in situ (figura 3b) consiste nel mescolare fillosilicato e monomero in modo da far penetrare quest'ultimo negli interstrati della carica e successivamente promuovere la reazione di polimerizzazione, cosicché il polimero in crescita si trovi già all'interno delle gallerie. È quindi il monomero stesso a distanziare le lamelle del silicato, coadiuvato in ogni caso da un modificante organico per permetterne, o facilitarne, l'ingresso nelle gallerie. Per intercalare direttamente il monomero all'interno

dell'argilla si sfrutta la polarità del monomero. La polimerizzazione può essere attivata sia con il calore o con radiazioni, sia con la diffusione di un opportuno iniziatore organico o di un catalizzatore fissato per scambio ionico all'interno dell'interstrato, prima del processo di *swelling* del monomero.

Molte reazioni di polimerizzazione intercalativa in situ con silicati lamellari sono state studiate già negli anni sessanta e settanta, ma soltanto successivamente al lavoro svolto dai ricercatori della Toyota vi è stato un forte interesse per tali composti [4a].

Intercalazione-esfoliazione da fuso

Questa tecnica prevede il mescolamento del silicato in una matrice polimerica allo stato fuso. Se le superfici dello strato sono sufficientemente compatibili con il polimero scelto, quest'ultimo può diffondere tra gli strati e formare o un nanocomposito intercalato o un nanocomposito esfoliato (figura 3c).

Il processo tipicamente prevede l'impiego di strumenti idonei ad una ottimale dispersione e distribuzione delle cariche nel polimero, come estrusori bivate (vd. riquadro). Attraverso tale processo, plastica in forma di granuli o polvere viene alimentata in un miscelatore riscaldato (estrusore) dove viti rotanti omogeneizzano il tutto. È evidente che preparare nanocompositi per intercalazione-esfoliazione da fuso sia di gran lunga più interessante dal punto di vista industriale, poiché svincola la fase di ottenimento del materiale nanocomposito da quella di sintesi del polimero, e la miscelazione avviene in massa in assenza di solventi infiammabili. Inoltre il processo è potenzialmente trasferibile sulla maggior parte degli impianti che processano materie plastiche attualmente in uso, e quindi alla portata di un grande numero di realtà industriali, anche di



dimensioni limitate. Il processo di preparazione mediante miscelazione allo stato fuso è di gran lunga il più studiato per le sue implicazioni pratiche di applicabilità e scalabilità a livello industriale, ma anche quello che più facilmente può portare a risultati parziali o irriproducibili se non correttamente ottimizzato.

Caratterizzazione strutturale

Per comprendere che tipo di materiale è stato ottenuto e qual è il livello di nanostrutturazione raggiunto, è necessario caratterizzare tali composti con opportune tecniche. Come molto spesso avviene, la risposta non è univoca ed in genere è necessario accedere a più di una tecnica per avere un quadro suffi-

cientemente chiaro della situazione.

Generalmente si utilizza la diffrazione di raggi X (XRD) per stabilire se il nanocomposito sia o meno intercalato e la Spettroscopia a trasmissione elettronica (TEM) per stabilire la morfologia del materiale.

Nei PLSN intercalati la ripetitiva struttura multistrato dei silicati viene conservata, ma la presenza delle catene polimeriche tra le lamelle aumenta la spaziatura interstrato rispetto all'organofiller di partenza, causando uno spostamento dei picchi di diffrazione a valori d'angolo più bassi (l'angolo di diffrazione e la distanza tra gli strati sono in relazione secondo la legge di Bragg $\lambda = 2d \sin \theta$ dove λ è la lunghezza d'onda della radiazione utilizzata nell'esperimento di diffrazione,

L'estrusione

È la tecnologia tipica per la produzione di manufatti con una dimensione indefinita (foglie, lastre, tubi, profilati). È utilizzata anche per la produzione di manufatti soffiati (bottiglie, film tubolare) e per il rivestimento di manufatti continui (cavi, tubi, profilati, lastre e foglie accoppiate). L'estrusione può essere effettuata impiegando contemporaneamente materiali diversi (coestrusione).

L'estrusore è una macchina molto versatile in quanto può essere utilizzata da sola o con altre macchine per la realizzazione in continuo sia di prodotti finiti sia di semilavorati (pellets, profili ecc.).



La qualità del processo di estrusione è strettamente correlata:

- alle caratteristiche chimico-fisiche del materiale;
- alle caratteristiche della vite: il passo; la larghezza e la profondità del canale; gli angoli di inclinazione della filettatura; il diametro esterno e il rapporto tra lunghezza della vite ed il suo diametro;
- al numero di viti (estrusore monovite, estrusore bivate corotante o bivate controrotante). L'estrusore monovite può essere usato per trattare materiali che allo stato fuso hanno basse viscosità e presenta l'inconveniente di creare all'interno del cilindro un letto di materiale solido. Quest'ultimo può in parte avanzare verso la testa dell'estrusore inficiando le caratteristiche del prodotto finito. L'estrusore bivate consente di superare questo inconveniente in quanto riesce ad omogeneizzare meglio il materiale processato; inoltre permette di preparare materiali compositi.

d è la spaziatura interlamellare e θ è l'angolo di diffrazione).

La determinazione delle distanze tra le lamelle di fillosilicato, compatibilizzato o meno, si ottiene dal riflesso indicato come d001 (figura 4). Nella maggior parte delle montmorilloniti commercialmente disponibili tale distanza varia da circa 1,1 a circa 1,7 nm, dopo trattamento del minerale con il tensioattivo cationico.

Nel caso di scarsa interazione carica-matrice si può avere la formazione di un microcomposito ed il diffrattogramma mostra riflessi coincidenti con quelli dell'argilla precursore (figura 4a).

Se il materiale nanocomposito che stiamo analizzando è di tipo intercalato, il suo diffrattogramma mostrerà il riflesso d001 spostato a valori di distanza superiore (sino a 2-3 nm) (figura 4b): questo indica che la galleria si è allargata a causa della penetrazione delle macromolecole con formazione di un nanocomposito intercalato.

L'assenza nel diffrattogramma del picco relativo al piano d001 (figura 4c), indi-

ca che le lamelle si sono allontanate più di 5 nm. Questo è quello che avviene in un nanocomposito esfoliato che, come abbiamo già accennato, rappresenta la situazione di massima destrutturazione e quindi di ottimale miglioramento delle proprietà fisiche del materiale nanocomposito.

L'analisi ai raggi x non ci consentirà tuttavia di distinguere tra una situazione di esfoliazione completamente disordinata ed una in cui le lamelle si sono allontanate molto pur mantenendo una orientazione ordinata relativa.

Naturalmente è importante determinare in quale delle due situazioni si incorre in quanto le prestazioni del materiale nanocomposito sono diverse nei due casi. La caratterizzazione strutturale del nanocomposito può essere utilemente integrata con metodi microscopici che danno delle evidenze complementari e più dirette, per quanto limitate ad una porzione di campione molto piccola rispetto al prodotto, o manufatto, in esame. In particolare la Microscopia Elettronica a Trasmissione (TEM) genera immagini dirette delle sezioni del campione e consente quindi di distinguere visivamente la posizione delle lamelle del silicato all'interno della matrice polimerica (figura 5).

La laboriosità della procedura di preparazione del campione e la difficoltà d'uso dello strumento la rendono tuttavia un'analisi piuttosto costosa e di limitato utilizzo come controllo di operazioni industriali.

Proprietà

I nanocompositi presentano dei miglioramenti molto interessanti rispetto ai compositi tradizionali sia dal punto di vista strutturale, sia dal punto di vista funzionale in presenza di percentuali estremamente basse di nanofiller.

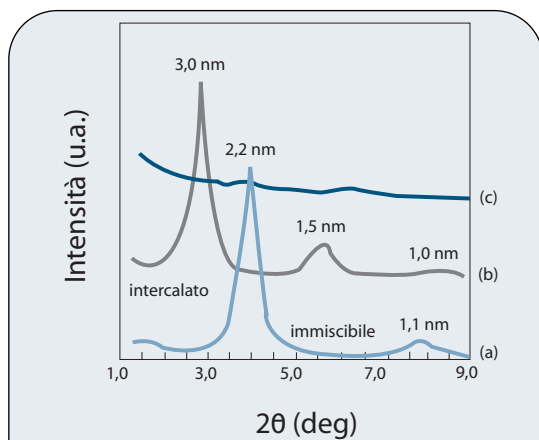


Figura 4
Riflesso d001 del diffrattogramma [4a] di:
(a) microcomposito a fasi separate (polietilene ad alta densità/fluoroectorite organomodificata);
(b) nanocomposito intercalato (polistirene/fluoroectorite organomodificata);
(c) nanocomposito esfoliato (gomma silicica/organomodificata)



Proprietà meccaniche

Il notevole miglioramento delle proprietà meccaniche di un nanocomposito, rispetto ad un polimero caricato, fu dimostrato per la prima volta, come già accennato, da un gruppo di ricercatori del Toyota Research Center per il sistema nylon 6/montmorillonite.

I nanocompositi nylon-6/silicati lamellari con un contenuto in nanocarica del 5% in massa, esibiscono un aumento del 40% del modulo elastico, del 68% della resistenza a trazione, del 60% della resistenza a flessione [14].

Oltre ad un generale aumento di tutte le prestazioni, è interessante notare come l'aumento della resistenza a trazione e del modulo non siano accompagnate da una significativa diminuzione della resistenza all'impatto, come generalmente accade nei comuni polimeri caricati.

Le proprietà meccaniche di un nanocomposito dipendono comunque dal tipo di

sistema argilla-polimero-compatibilizzante e dalla morfologia realizzata. Infatti, non è detto a priori che un nanocomposito abbia proprietà migliori del polimero di partenza.

Proprietà barriera

Generalmente i nanocompositi polimero-silicati lamellari sono caratterizzati da una forte riduzione di permeabilità ai gas ed ai liquidi.

Sia per le resine epossidiche [15] che per il semipermeabile poliuretano [16], che per l'idrofilo polivinilalcol [17] si ottiene un miglioramento di almeno un ordine di grandezza per un contenuto di montmorillonite del 5-7% in peso.

Probabilmente questo abbassamento della permeabilità è dovuto all'aumento di tortuosità del percorso, introdotto dalle lamelle di silicato, che una molecola di gas permeante deve compiere per attraversare un nanocomposito (figura 6).

Tale caratteristica suggerisce l'utilizzo dei nanocompositi come film-barriera per alimenti o bottiglie per bibite gasate, in particolare per birra (degrada anche per minime quantità di ossigeno), oppure come serbatoi di carburante, tubazioni rigide o flessibili per benzine e gasolio (per non far traspirare i vapori per ovvie ragioni di inquinamento).

Proprietà termiche

Dal punto di vista termico i nanocompositi mostrano generalmente un au-

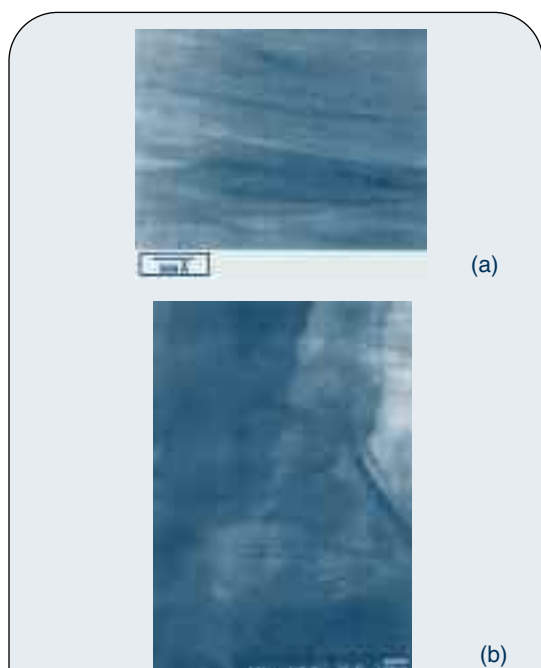


Figura 5
Micrografie TEM di nanocomposito del tipo polistirene/silicato lamellare [4a]: (a) nanocomposito intercalato; (b) nanocomposito esfoliato

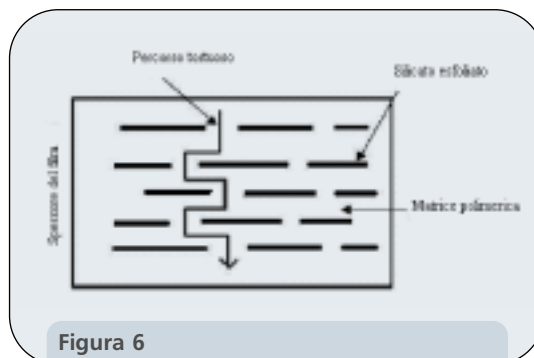


Figura 6
Modello del percorso tortuoso compiuto dalle molecole di gas in un nanocomposito

mento della stabilità, intesa come un aumento della temperatura di decomposizione [18].

Un aumento della temperatura di decomposizione è solitamente accompagnato da un incremento della temperatura alla quale il materiale si rammollisce e deforma (temperatura di transizione vetrosa). Ciò accade perché le catene di polimero intercalate formano un gran numero d'interazioni con il silicato con conseguente riduzione della propria mobilità rotazionale e traslazionale, creando una situazione che presenta delle analogie con quanto accade in un polimero reticolato, dove gli impedimenti alla mobilità causano un incremento della temperatura di transizione vetrosa del polimero.

Un incremento della temperatura di decomposizione e della temperatura di transizione vetrosa consentono un ampliamento dell'intervallo di temperature di utilizzo del materiale.

Resistenza alla fiamma

Nei nanocompositi a base di filler lamellari è stata evidenziata una ridotta velocità di rilascio del calore durante la combustione [19].

Un tipico esempio è mostrato in figura

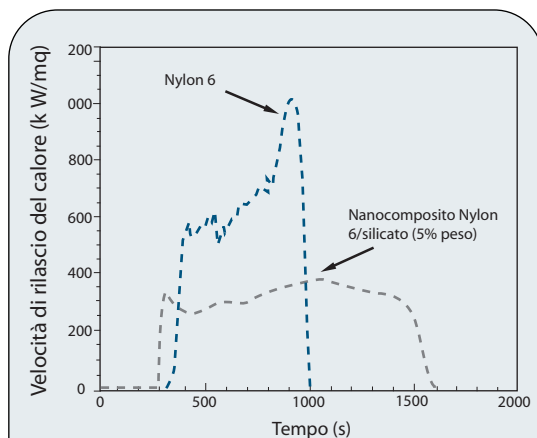


Figura 7
Confronto grafico tra la velocità di rilascio del calore per il nylon 6 e il nanocomposito nylon 6/silicato (5% peso), esposto ad un flusso di calore di 35 kW/m²

7 dove si può osservare una diminuzione del 63% del picco relativo alla velocità di rilascio del calore in funzione del tempo del nanocomposito rispetto al nylon 6 non caricato.

Bisogna inoltre sottolineare che ad una diminuzione della velocità di rilascio del calore non si accompagna un aumento del calore di combustione e della produzione di fumo e monossido di carbonio (proprietà comunque importanti). Alcuni esperimenti [20] hanno dimostrato che le proprietà ritardanti dei nanocompositi derivano principalmente dalla formazione di strati di carbone che si formano per effetto del collassamento delle strutture esfoliate ed intercalate. L'avvicinamento delle lamelle alla superficie esterna del polimero porta alla formazione di una barriera protettiva alla base della fiamma. Ciò comporta una diminuzione di scambi gassosi del comburente (ossigeno) con il combustibile. L'utilizzo dei PLSN rappresenta un sistema molto efficiente di ritardo di fiamma e non presenta neanche gli svantaggi associati agli additivi di solito utilizzati. Questi ultimi, infatti, spesso degradano le proprietà fisiche del materiale ed aumentano il monossido di carbonio e la fuliggine prodotti durante la combustione.

Applicazioni

Le prime e ormai consolidate applicazioni dei materiali nanocompositi rientrano nel settore dell'automotive. Infatti il settore automobilistico ha fornito la motivazione per la prima applicazione commerciale di questi materiali: un nanocomposito del nylon-6, commercializzato dalla Toyota in collaborazione con Ube, per la copertura della cinghia di distribuzione.

Lo stesso materiale è stato usato poco dopo per la copertura del motore. Questi primi nanocompositi del nylon ave-



vano però costi eccessivi e quindi erano poco competitivi sul mercato automobilistico; tuttavia con le recenti innovazioni, la GM ha da poco introdotto sul mercato due nuovi modelli di van che presentano tra i propri *optional* una pedana laterale di appoggio realizzata con un nanocomposito del polipropilene.

Il nuovo materiale pesa il 20% in meno, ha una rigidità simile al PP, ha un costo equivalente, è più riciclabile in quanto contiene meno additivi e non richiede nuove lavorazioni agli utensili. Nanocompositi del polycarbonato sono stati presi in considerazione come ricoprimento esterno necessario per ottenere resi-

Alcuni prodotti presenti sul mercato

La **Wilson Sporting** ha rivestito il cuore delle palline da tennis con nanocompositi polimerici a base di gomma butilica e vermiculite, rendendole così utilizzabili per quattro settimane.



Tra le applicazioni in campo medico sono da ricordare i nanocompositi a matrice di nylon 12 della **Foster Corp** utilizzati per i cateteri.



La **Bayer** ha realizzato imballaggi costituiti da nanocompositi a matrice di nylon 6 per il confezionamento di carni e per il rivestimento plastico di contenitori di succhi di frutta.

La **Triton System** ha prodotto nanocompositi a matrice poliolefinica per l'imballaggio di prodotti alimentari e farmaceutici.



La **Nanocor** è riuscita a produrre dei nanocompositi utilizzabili nelle plastiche per l'imbottigliamento della birra in grado di garantire il mantenimento delle condizioni ottimali, sia dell'imballaggio che del suo contenuto, per sei mesi.



Diverse applicazioni vi sono in campo automobilistico: la **UBE** in collaborazione con la Toyota ha utilizzato nanocompositi del nylon 6 per la copertura della cinghia di distribuzione e del motore, la **GM** ha introdotto tra gli optional dei van una pedana d'appoggio costituita da nanocompositi poliolefinici.



stenza all'abrasione e agli agenti atmosferici, senza ridurre la brillantezza della carrozzeria. Un'altra applicazione riguarda il sistema di alimentazione del combustibile, sfruttando le proprietà di barriera di questi nuovi materiali.

Per le loro proprietà di barriera ai gas i nanocompositi sono utilizzati per imballaggi alimentari, sia flessibili sia rigidi. Esempi specifici includono il confezionamento per carni trattate, formaggio, cereali, pasticceria, latticini, cartoni per succhi di frutta, bottiglie per birra e bevande gassate. L'uso dei nanocompositi permette di aumentare considerevolmente la durata di molti tipi di cibi.

Nel campo medico, sempre grazie alle proprietà di barriera, si sta pensando ad un'applicazione molto all'avanguardia: la realizzazione di film da utilizzare negli intestini artificiali.

Per la loro elevata trasparenza i nanocompositi sono utilizzati per rivestire film per *packaging*, in quanto ne miglio-

rano tenacità e durezza senza interferire con le caratteristiche di trasmissione della luce.

Nanocompositi polistirene/montmorillonite: un esempio di preparazione nel Centro ENEA di Portici

Lo sviluppo di materiali con elevate prestazioni ottenuti da processi di trasformazione innovativi rappresenta uno dei principali obiettivi dell'ENEA nel campo dei materiali polimerici e compositi a matrice polimerica. In particolare nell'ambito del progetto CAMPEC è previsto lo sviluppo di materiali silico-polimero per applicazioni nel *packaging*. Inserendosi in tale campo di ricerca, dopo aver effettuato un'analisi dello stato dell'arte, si è individuato un sistema modello per mettere a punto metodi chimici di sintesi di nanocompositi polimero-silicati lamellari.

Più precisamente si è messa a punto la sintesi di nanocompositi polistirene/montmorillonite mediante polimerizzazione intercalativa *in situ* e intercalazione-esfoliazione da fuso. Sono state verificate le caratteristiche strutturali e dimensionali dei prodotti attraverso metodi di caratterizzazione termica, mediante calorimetria a scansione differenziale (DSC) ed analisi termogravimetrica (TGA) e microstrutturale (XRD) al fine di ottenere le correlazioni tra i parametri del processo e le caratteristiche dei prodotti di reazione.

Il polistirene: un polimero modello

Il polistirene è stato scelto perché si presta alla realizzazione di nanocompositi sia per melt-compounding, sia per polimerizzazione *in situ*. Così facendo, si hanno sistemi con diversa morfologia, ma uguale composizione chimica, che consentono di studiare gli effetti della morfologia e della tecnica di preparazione sulle proprietà.

Consorzio Campec



Il Campec è una società consortile partecipata dall'ENEA attiva nel settore delle applicazioni, delle tecnologie di trasformazione e dell'utilizzo per la tutela dell'ambiente dei materiali polimerici.

La sua "mission" è di costituire un punto di riferimento dell'impresa, in particolare quella meridionale, operante nel comparto delle materie plastiche e dei compositi, e di rappresentare il collegamento con la ricerca accademica, costituendo un'efficace saldatura tra attività scientifica e esigenze del settore industriale, pilotando l'offerta verso la domanda e viceversa.



Il polistirene (PS) è un polimero termoplastico le cui proprietà consentono di utilizzarlo per numerose applicazioni [21]: elettronica, casalinghi, imballaggi, materiali edili isolanti. È trasparente, non costoso e facile da processare. Presenta buone proprietà ottiche tra le quali un elevato indice di rifrazione e buone proprietà dielettriche che lo rendono utilizzabile per applicazioni ottiche e isolanti. Presenta comunque delle limitazioni come ad esempio fragilità e scarsa resistenza alla radiazione UV. Il PS è sensibile agli alimenti con un elevato contenuto in grassi ed oli, ingiallisce se esposto all'aria.

Al fine di migliorarne le caratteristiche numerosi studi sono stati effettuati e tuttora vengono effettuati sui nanocompositi [4] del polistirene.

Sintesi dei nanocompositi mediante polimerizzazione intercalativa in situ

Il monomero di partenza (stirene, Aldrich) è stato polimerizzato in massa in presenza dell'iniziatore radicalico N,N'-Azobisobutirronitrile (AIBN, Aldrich) e della montmorillonite organomodificata.

Sono stati sintetizzati nanocompositi contenenti il 3% ed il 5% in peso sia di cloruro di [di(sego idrogenato)dimetilammonio] sale di montmorillonite (nome commerciale Dellite 72 T, di seguito indicata come MMT A) sia il cloruro di sego benzil-dimetilammonio sale di montmorillonite (nome commerciale Dellite 43B, di seguito indicata come MMT B), entrambe fornite dalla Laviosa Chimica mineraria SpA.

Si è optato per questi due tipi di organo-montmorillonite, che si differenziano essenzialmente per la presenza o meno di un anello benzenico come sostituito, con l'obiettivo di verificare quanto la presenza di un gruppo benzilico, particolarmente affine alla matrice polimerica, potesse influenzare in modo si-

gnificativo le proprietà del materiale nanocomposito realizzato.

La procedura di sintesi è stata analoga per tutti i nanocompositi e prevede sostanzialmente due fasi: la diffusione dello stirene tra le lamelle di montmorillonite e la successiva reazione di polimerizzazione.

Preparazione dei nanocompositi mediante intercalazione-esfoliazione da fuso

I nanocompositi polistirene/montmorillonite per intercalazione-esfoliazione da fuso sono stati preparati utilizzando un estrusore bivate HAAKE PolyLab CTW100-PTW25 avente viti coniche e parallele che sono in grado di simulare un processo produttivo.

Il software permette di impostare il profilo di temperatura della zona di fusione e della testa, le quantità da dosare e le velocità delle viti (n° di giri/min).

Sono stati preparati nanocompositi contenenti il 3% in peso di MMT A e MMT B utilizzando un polistirene commerciale (Aldrich).

Alla fine del processo il prodotto ottenuto è stato ridotto in pellets per poter essere caratterizzato.

Caratterizzazione mediante Diffrazione di Raggi X

Al fine di verificare la realizzazione di un materiale nanocomposito (intercalato o esfoliato) e non semplicemente microcomposito, i prodotti ottenuti sono stati analizzati mediante Diffrazione di Raggi X (XRD).

In figura 8 è riportato il diffrattogramma, per valori di 2θ da 2° a 10° , eseguito sulla polvere di MMT B e sui nanocompositi di PS/MMT B preparati con entrambe le metodologie.

Si nota che nel diffrattogramma dei nanocompositi non appare alcun segnale in corrispondenza del valore di θ di $4,6^\circ$ tipico della MMT B. Da ciò, per quanto

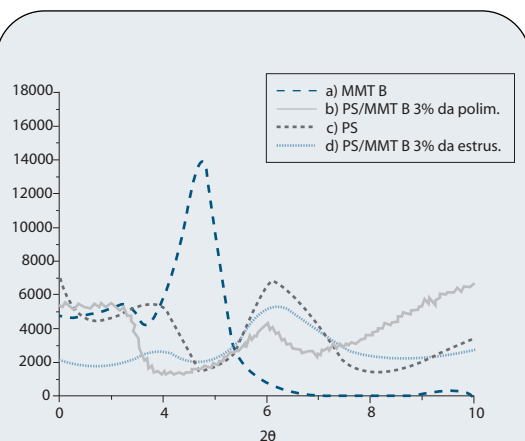


Figura 8
 Diffratogramma relativo alla MMT B (curva a), a PS/MMT B 3% da polimerizzazione intercalativa in situ (curva b), PS (curva c), PS/MMT B al 3% da Intercalazione-estrazione da fuso (curva d)

detto, si può dedurre che il materiale preparato è esfoliato o presenta un'intercalazione con un allontanamento delle lamelle tale da non essere rilevabile con questa tecnica.

Si ottiene un risultato analogo in presenza della MMT A.

Analisi termica

Nei nanocompositi si dovrebbe verificare un incremento della temperatura di transizione vetrosa, causato dall'innalzamento della soglia energetica necessaria per la transizione.

Quest'effetto è stato rilevato mediante DSC eseguita sui campioni di polistirene non caricato e sui nanocompositi, utilizzando un calorimetro Perkin Elmer Pyris in flusso di azoto, ad una velocità di scansione di 10°C/min.

I risultati ottenuti sono riportati in tabella 1: tutti i nanocompositi mostrano una temperatura di transizione vetrosa (T_g) maggiore rispetto al PS non caricato.

Si nota che il PS commerciale presenta una T_g inferiore rispetto al PS sintetizzato, probabilmente quest'ultimo pre-

senta un peso molecolare maggiore.

Nel caso dei polimeri contenenti la MMT A la T_g aumenta all'aumentare della percentuale di carica passando da un incremento di 4° per il campione al 3% e ad uno di 6° per quello al 5%. Questi risultati sono in accordo con i dati di letteratura [21, 22] che affermano che per nanocompositi PS/MMT organomodificata con surfattanti contenenti lunghe catene alchiliche, le migliori T_g si ottengono per percentuali in peso del 5%.

I campioni contenenti la MMT B, invece, mostrano un incremento di circa 10° della T_g per una percentuale di carica del 3% e di poco più di 6° nel caso del 5%. Probabilmente in quest'ultimo caso si ha la formazione di agglomerati di MMT che impediscono il confinamento delle catene polimeriche tra gli strati.

I nanocompositi preparati per intercalazione-estrazione da fuso mostrano un incremento della T_g maggiore (circa 10°C) rispetto a quelli sintetizzati per polimerizzazione intercalativa in situ (6–10°C).

Ciò potrebbe essere attribuito al fatto che generalmente, per i nanocompositi preparati mediante polimerizzazione intercalativa *in situ*, il nanofiller può avere anche un ruolo di inibitore nella propagazione delle catene, abbassando il peso molecolare del polimero e di conseguenza la temperatura di transizione vetrosa.

La stabilità termica dei materiali ottenuti è stata verificata con un'analisi termogravimetrica utilizzando un'apparecchiatura Mettler TG50, in atmosfera di azoto con scansioni di tipo dinamico alla velocità di 20°C/min. I risultati sono riportati in tabella 2.

Dall'analisi termogravimetrica si deduce che i campioni ottenuti per polimerizzazione intercalativa in situ contenenti il 5% di carica presentano una temperatura di decomposizione paragonabile a quella del PS non caricato, che è, in-


Tabella 1 - Temperature di transizione vetrose dei nanocompositi preparati mediante Polimerizzazione intercalativa in situ e mediante Intercalazione-esfoliazione da fuso

Campione	T _g (°C)	
	Polimerizzazione intercalativa in situ	Intercalazione-esfoliazione da fuso
PS	94,2	85,0
PS/MMT A 3%	98,1	94,9
PS/MMT A 5%	100,2	
PS/MMT B 3%	103,6	95,2
PS/MMT B 5%	100,9	

Tabella 2 - Temperature di decomposizione, relative ad una perdita in peso del 5%, dei nanocompositi preparati mediante Polimerizzazione intercalativa in situ e mediante Intercalazione-esfoliazione da fuso

Campione	T _d (°C)	
	Polimerizzazione intercalativa in situ	Intercalazione-esfoliazione da fuso
PS	330	355
PS/MMT A 3%	360	340
PS/MMT A 5%	320	
PS/MMT B 3%	340	355
PS/MMT B 5%	310	

vece, incrementata del 9% e del 3% nel caso dei campioni contenenti il 3% di MMT A e MMT B rispettivamente.

Le minori temperature di decomposizione dei nanocompositi contenenti il 5% in peso di nanocarica (sia MMT A che MMT B) sono da mettere in relazione alla maggiore presenza di strutture intercalate, meno stabili termicamente, rispetto alle strutture esfoliate.

Infatti è noto [13] che, per più alti dosaggi di argille, l'equilibrio tra strutture esfoliate e strutture intercalate si sposta a favore di queste ultime.

I nanocompositi ottenuti per estrusione mostrano invece una temperatura di decomposizione paragonabile a quella del polimero non caricato.

Da quanto sopra esposto si può concludere che le proprietà termiche del poli-

stirene risultano potenziate dalla presenza della nanocarica, nel caso della polimerizzazione in situ, indipendentemente dal sale di ammonio utilizzato.

Questo farebbe pensare che la presenza dell'anello benzilico al posto di strutture alchiliche non comporta sensibili variazioni nel meccanismo dei processi di esfoliazione-intercalazione. Quindi non si trovano differenze prestazionali-strutturali tra i nanocompositi preparati con i due tipi di montmorilloniti.

Risulta evidente, inoltre, che il miglioramento delle caratteristiche non procede linearmente con la percentuale di carica, ma i nanocompositi al 3% esibiscono, in alcuni casi, requisiti superiori a quelli al 5%. L'incremento della temperatura di decomposizione, rispetto al polistirene puro, per i compositi ottenuti

per polimerizzazione *in situ*, PS/MMT A e PS/MMT B al 3% è confrontabile con i migliori risultati ottenuti con nanocompositi a matrice polistirenica contenenti percentuali analoghe di MMT organomodificata con sali di ammonio [4a, 22]. Ciò, unito ad un aumento della temperatura di transizione vetrosa, rappresenta la possibilità di poter estendere i campi d'applicazione del polimero originario.

Entrambe le procedure di preparazione adottate sono state efficaci al fine di ottenere un materiale nanocomposito. L'analisi XRD infatti mostra in entrambi i casi la formazione di strutture esfoliate ma, considerati i limiti di rilevabilità di tale tecnica, è necessaria un'analisi morfologica mediante TEM.

Inoltre un'indagine di ulteriori proprietà potrebbe confermare le stesse caratteristiche prestazionali per i nanocompositi ottenuti sia per polimerizzazione intercalativa *in situ* che per estrusione.

È possibile, infine, cercare di migliorare ulteriormente le proprietà di tali nanocompositi modificando la montmorillonite con agenti compatibilizzanti di tipo diverso (sali di fosfonio, organosilani ecc.).

Conclusioni

Il maggior vantaggio applicativo dei PL-SN risiede nella possibilità di innalzare il livello prestazionale di molti "commodity polymers" e dei tecnopolimeri di più vasto utilizzo sino ad offrire una soluzione economicamente competitiva a materiali di più alto costo. A ciò si unisce, come già sottolineato, il basso impatto ambientale legato alla facile riciclabilità dei materiali nanostrutturati con argille. I due settori che al momento rappresentano il mercato dei nanocompositi, ovvero quello automobilistico e l'imballaggio per alimenti, nei prossimi dieci anni continueranno ad essere gli sbocchi pri-

mari, ma saranno affiancati da altri mercati compreso l'imballaggio di merce non commestibile e una gamma di altri mercati di beni durevoli.

Tuttavia, nonostante il quasi generalizzato miglioramento di proprietà, i casi di effettivo sfruttamento industriale sono ancora relativamente ridotti.

Il settore dei nanocompositi è attualmente in una fase embrionale di sviluppo. Sebbene questi materiali siano oggetto di ricerca da più di due decenni e siano stati sviluppati commercialmente alla fine degli anni ottanta, solo adesso i produttori di polimeri stanno muovendo i primi seri passi verso lo sviluppo di questa tecnologia per fini commerciali. Esiste ormai una vasta letteratura sull'argomento, ma la maggior parte di essa descrive lavori del tipo "try and test", mentre sono scarsi i lavori di ricerca più sistematici ed indirizzati agli aspetti basilari. Attualmente le grosse incognite sono focalizzate sulle leggi che governano la dispersione della matrice inorganica nel polimero, così come sui fenomeni che si celano dietro alle proprietà di questi materiali. Questi interrogativi ruotano attorno alla conoscenza ed alla misura delle interazioni chimiche e fisiche che si instaurano tra il polimero e la componente inorganica. È necessario un attento studio sistematico della chimica e della fisica del sistema polimero/carica inorganica.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Centro ENEA di Brindisi ed in particolare C. Massaro, A. Cancellara e G. Bettin per la preparazione dei campioni per estrusione, C. Minarini per le misure di diffrazione ai raggi X.

ENEA, Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali
Per informazioni
massimo.schwarz@casaccia.enea.it



Bibliografia

- [1] G. Akovali (2001) "Handbook of Composite Fabrication", *Rapra Technology Ltd.*; United Kingdom.
- [2] S.K. Mazumdar (2002) "Composites Manufacturing Materials", *Product and Process Engineering*, CRC Press, U.S.A.
- [3] H. Fischer (2003), "Polymer nanocomposites: from fundamental research to specific applications", *Materials Science & Engineering*; 23, 763-772.
- [4] (a) M. Alexandre, P. Dubois (2000), "Polymer-layered silicate nanocomposites: preparation, properties and uses of a new class of materials", *Mat. Sci. and Eng.*, 28, 1-63; (b) S. Sinha Ray, M. Okamoto (2003), "Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing", *Prog. Polym. Sci.* 28, 1539-1641; (c) S. Sinha Ray, M. Bousmina (2005), "Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: In greening the 21st century materials world", *Progress in Materials Science*, 50, 962-1079.
- [5] A. Blumstein (1961), "Etude des polymerizations en couche adsorbée", *Bull. Chim. Soc.* 899-905.
- [6] K. Yano, A. Usuki, A. Okada, T. Kurauchi, O. Kamigaito (1993), "Synthesis and properties of polyimide-clay hybrid", *J. Polym. Sci.: Part A: Polym. Chem.* 31, 2493-2198.
- [7] RA. Vaia, RK. Teukolski, EP Giannelis (1994), "Interlayer Structure and Molecular Environment of Alkylammonium Layered Silicates", *Chem. Mater.* 6, 1017-1022.
- [8] D.J. Greenland (1963), "Adsorption of poly(vinyl alcohols) by montmorillonite", *J. Colloid Sci.* 18, 647-664.
- [9] N. Ogata, S. Kawakage, T. Ogihara (1997), "Poly(vinyl alcohol)-clay and poly(ethylene oxide)-clay blends prepared using water as solvent", *J. Appl. Polym. Sci.*, 66, 573-581.
- [10] R. Levy, C.W. Francis (1975), "Interlayer Adsorption of Polyvinylpyrrolidone On Montmorillonite", *J. Colloid Interface Sci.* 50, 442-450.
- [11] J. Billingham, C. Breen, J. Yarwood (1997), "Adsorption of polyamine, polyacrylic acid and polyethylene glycol on montmorillonite: An in situ study using ATR-FTIR", *Vibr. Spectrosc.* 14, 19-34.
- [12] J. Wu, M.M. Lerner (1993), "Structural, thermal, and electrical characterization of layered nanocomposites derived from sodium-montmorillonite and polyethers", *Chem. Mater.* 5, 835-839.
- [13] HG Jeon, HT Jung, SW Lee, SD Hudson (1998), "Morphology of polymer/silicate nanocomposites", *Polym Bull* 41, 107-113.
- [14] Y. Kojima, A. Usuki, M. Kawasumi, A. Okada, A. Fujishima, T. Kurauchi, O. Kamigaito (1993), "Mechanical properties of nylon 6-clay hybrid", *J. Mater. Res.* 8, 1185.
- [15] S. D. Burnside, E P. Giannelis (2000), "Nanostructure and properties of polysiloxane-layered silicate nanocomposites", *J Polym Sci, Polym Phys*, 38, 1595-1604.
- [16] R. Xu, E. Manias, A.J. Snyder, J. Runt (2001), "New Biomedical Poly(urethane urea)-Layered Silicate Nanocomposites", *Macromolecules*, 34, 337-339.
- [17] K. Strawhecker, E. Manias (2000), "Structure and Properties of Poly(vinyl alcohol)/Na⁺ Montmorillonite Nanocomposites", *Chem. Mater.*, 12, 2943-2949.
- [18] A. Blumstein, (1965) "Polymerization of adsorbed monolayers: II. Thermal degradation of the inserted polymers," *J. Polym. Sci. A3* 2665-2673.
- [19] J.W. Gilman (1999), "Flammability and thermal stability studies of polymer layered-silicate (clay) nanocomposites", *Appl. Clay Sci.*, 15, 31-49.
- [20] J.W. Gilman, T. Kashiwagi, S. Lomakin, E.P. Giannelis, E. Manias, J.D. Lichtenhan, P. Jones (1997), "Nanocomposites: radiative gasification and vinyl polymer flammability", *Proceedings of the 6th European Meeting on Fire Retardancy of Polymeric Materials (FRPM'97)*, 24, 203-221, University of Lille, France.
- [21] C.A. Finch (1992), "Plastics, properties and testing to polyvinyl compounds", *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, vol. A21, 617, 5th edition, VCH Publishers, New York.W.
- [22] Xie, J.M. Hwu, G.J. Jiasng, T.M. Buthelezi, W. Pan (2003), "A study of the effect of surfactants on the properties of polystyrene-montmorillonite nanocomposites", *Polymer Engineering and Science*, 43, 214-222.



Mitigazione dei cambiamenti climatici

È stato approvato il 4 maggio a Bangkok il Terzo Capitolo del Quarto Rapporto dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) che sarà completato entro la fine del 2007.

Il rapporto del WG III *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change* intende chiarire cosa è necessario e possibile fare già oggi a livello scientifico e tecnologico per mitigare l'effetto serra che, secondo molti esperti

mondiali, è per il 95% di origine antropica.

Con "mitigazione" s'intende la stabilizzazione dell'aumento della temperatura terrestre entro i 2-2,4 gradi centigradi; operazione possibile solo con una drastica riduzione delle emissioni di CO₂ entro il 2050, grazie al sempre maggior ricorso alle energie rinnovabili.

Per stroncare all'origine le obiezioni riguardanti i costi elevati che il passaggio a queste tecnologie comporterebbero, l'IPCC sottolinea con enfasi come, invece, sia possibile ottenere tali risultati spendendo annualmente solo lo 0,12% del prodotto interno lordo mondiale, a fronte di costi anche 20 volte maggiori in termini di vite umane, disastri naturali causati dal moltiplicarsi dei fenomeni estremi, impatti sul turismo, sull'agricoltura e in generale sull'economia mondiale, qualora non si facesse nulla. Il Rapporto del WG III, inoltre, definisce il grado di consenso e di certezza scientifica delle proprie conclusioni attraverso i termini di "agreement" ed "evidence". "Agreement" è il livello relativo di convergenza nella letteratura ed "evidence" è la quantità di informazione tecnico-scientifica sulla quale sono basati i risultati trovati.

Per i documenti originali il sito è www.ipcc.ch mentre sul sito del Focal Point dell'IPCC per l'Italia www.cmcc.it/web/public/IPCC-Italia sono presenti i documenti tradotti che sono qui riportati.

Trend globali di emissione di gas ad effetto serra

Senza appropriate politiche aggiuntive di mitigazione

del clima e/o di sviluppo sostenibile, le emissioni globali continueranno a crescere in pochi decenni (*high agreement, much evidence*).

Le emissioni globali di gas serra pesate in base al loro potenziale di riscaldamento globale sono aumentate del 70% tra il 1970 ed il 2004 (da 28,7 a 49 GtCO₂eq), e del 24% tra il 1990 ed il 2004. Le emissioni di CO₂, quantitativamente il più importante gas serra, sono aumentate dell'80% dal 1970 al 2004 e del 28% tra il 1990 ed il 2004.

Nonostante le emissioni di gas serra si siano ridotte grazie a misure, politiche di sviluppo sostenibile ed a una tendenziale diminuzione dell'intensità energetica nella produzione e nel consumo, queste riduzioni risultano troppo limitate per incidere sul trend storico delle emissioni globali. Questo trend è stato influenzato in maniera decisiva da un aumento del reddito pro capite globale e da una rallentata ma sempre continua crescita della popolazione mondiale.

Nel 2004 i Paesi industrializzati (Paesi Annesso I UNFCCC), rappresentativi del 20% della popolazione mondiale, hanno contribuito alle emissioni globali di gas serra per il 46%, nonostante le loro economie abbiano una intensità media di gas serra in rapporto al prodotto interno lordo minore di un terzo rispetto ai Paesi non-Annesso I.

Ci si aspetta che la dominanza dei combustibili fossili come fonte energetica continui fino al 2030 ed oltre. In base a questa premessa e senza politiche ag-

dal Mondo

Mitigazione
dei cambiamenti
climatici

USA e UE
per il dopo KYOTO



giuntive di mitigazione, le emissioni globali di gas serra potrebbero aumentare da un 25% ad un 90% al 2030 rispetto al 2000, a seconda dello scenario. Dai due terzi ai tre quarti di questo aumento sarà dovuto ai Paesi in via di sviluppo. A tale riguardo va evidenziato che le emissioni medie di CO₂ pro capite di questi Paesi rimarranno sostanzialmente più basse (da 2,8 a 5,1 t CO₂/cap) rispetto a quelle dei Paesi industrializzati (da 9,6 a 15,1 t CO₂/cap), mentre l'intensità energetica delle loro economie sarà superiore a quella dei Paesi industrializzati (11-21,6 contro 6,2-9,9 MJ/US\$PIL).

Mitigazione nel breve e medio termine (fino al 2030)

Entrambi gli approcci di tipo "bottom-up" e "top-down" indicano che c'è un significativo potenziale economico per la mitigazione delle emissioni globali di gas serra nei prossimi due decenni sufficiente a bilanciare la crescita prevista delle emissioni o a ridurre le emissioni rispetto ai livelli attuali (*high agreement, much evidence*). Gli scienziati dell'IPCC hanno concluso che la mitigazione delle emissioni di gas ad effetto serra non può essere effettuata in maniera efficace agendo su un solo settore o attraverso l'utilizzo di un'unica tecnologia. A tale riguardo, i settori/tecnologie con il maggior potenziale economico di mitigazione sono: il settore energetico (ad esempio attraverso il maggiore utilizzo delle fonti rinnovabili, il miglioramento dell'efficienza nella generazione e distribuzione e il maggior ricorso alla cogene-

razione); il settore civile/residenziale (in particolare attraverso l'aumento dell'efficienza nell'uso finale di energia negli edifici) e industriale (in particolare attraverso l'aumento dell'efficienza delle apparecchiature elettriche e del maggiore riutilizzo e riciclo).

Si stima che, al 2030, i costi macro-economici necessari per stabilizzare le concentrazioni in atmosfera di gas ad effetto serra tra 450 e 710 ppmv CO₂ eq varieranno in un *range* compreso tra una riduzione del 3% del prodotto interno lordo globale e un lieve aumento dello stesso (rispetto all'andamento tendenziale). Tuttavia i costi regionali possono essere significativamente diversi rispetto alle medie globali relative ai diversi scenari di stabilizzazione (*high agreement, medium evidence*).

Questi costi tuttavia possono essere significativamente contenuti:

- attraverso l'attuazione di politiche climatiche finalizzate a stimolare l'innovazione tecnologica;
- se gli introiti derivanti dall'attuazione di *carbon tax* o dalla messa all'asta delle quote nell'ambito di un sistema di scambio delle quote di emissioni sono utilizzati per promuovere le tecnologie a basso contenuto di carbonio o riformare opportunamente gli schemi di tassazione esistenti ;
- attraverso un approccio alla mitigazione che tenga conto di tutti i gas ad effetto serra e che includa i *carbon sinks*.

Gli investimenti nelle infrastrutture energetiche nei Paesi in via di sviluppo,

l'ammodernamento delle infrastrutture energetiche nei Paesi sviluppati e le politiche per aumentare la sicurezza energetica, possono, in molti casi, creare opportunità per ridurre le emissioni di gas serra rispetto all'andamento tendenziale e, nello stesso tempo, produrre *co-benefits*, quali la diminuzione dell'inquinamento dell'aria, un miglioramento della bilancia commerciale, una fornitura di servizi energetici moderni alle aree rurali e un aumento dell'occupazione (*high agreement, much evidence*).

Esistono molte opzioni di mitigazione nel settore dei trasporti, ma il loro effetto potrebbe essere vanificato dalla crescita del volume del settore.

Tali opzioni includono: l'aumento dell'efficienza energetica dei veicoli, l'uso dei bio-combustibili e lo spostamento modale del trasporto dalla strada alla ferrovia ed alle vie di navigazione interne. Le forze del mercato, incluso l'aumento del costo dei combustibili, da sole non sono in grado di generare riduzioni significative delle emissioni. In particolare per il settore dell'aviazione, il potenziale di riduzione delle emissioni nel medio periodo può essere raggiunto attraverso il miglioramento dell'efficienza ottenibile, ad esempio attraverso interventi sulla tecnologia e sul miglioramento della gestione del traffico aereo.

Mitigazione nel lungo termine (dopo il 2030)

Per raggiungere i diversi livelli di stabilizzazione del-

le concentrazioni nel lungo termine considerate dal rapporto, le emissioni globali devono raggiungere un picco e poi diminuire. Più basso è il livello di stabilizzazione e più il picco e la diminuzione devono verificarsi più rapidamente. Gli sforzi di mitigazione dei prossimi due o tre decenni determineranno significativamente la possibilità di raggiungere bassi livelli di stabilizzazione (*high agreement, much evidence*). Il range dei livelli di stabilizzazione valutati può essere raggiunto attraverso un *portfolio* di tecnologie, alcune delle quali sono già oggi disponibili sul mercato mentre altre lo saranno nei prossimi decenni, purché vengano forniti appropriati ed efficaci incentivi per lo sviluppo, l'acquisizione, la diffusione di tali tecnologie (*high agreement, much evidence*). I costi macro-economici necessari per stabilizzare, al 2050, le concentrazioni in atmosfera dei gas ad effetto serra tra 450 e 710 ppmv CO₂ eq sono quantificabili in un range compreso tra una riduzione del 5,5% del prodotto interno lordo globale e un aumento dell'1% dello stesso (rispetto all'andamento tendenziale). Tuttavia i costi regionali possono essere significativamente diversi rispetto alle medie globali relative ai diversi scenari di stabilizzazione (*high agreement, medium evidence*). La decisione in merito all'individuazione del livello appropriato di mitigazione fa parte di un processo iterativo di gestione del rischio che tiene conto sia degli aspetti relativi alla mitigazione che di quelli relativi all'adattamento. Le scelte in merito al

livello e alla tempistica di mitigazione dovrebbero essere guidate da un confronto tra i costi associati ad una tempestiva riduzione delle emissioni e i danni di medio e lungo termine connessi ad una ritardata azione (*high agreement, much evidence*).

Politiche, misure e strumenti

Politiche finalizzate a determinare un "prezzo del carbonio" incentiverebbero consumatori e produttori ad investire significativamente in prodotti, tecnologie e processi a basso contenuto di carbonio. Tali politiche includono strumenti economici, finanziamenti pubblici e regolamentazione (*high agreement, much evidence*).

I Governi già dispongono di una grande varietà di strumenti e politiche per incentivare azioni di mitigazione. L'applicabilità di tali strumenti dipende dalle circostanze nazionali e da un'attenta valutazione delle interazioni tra gli stessi. L'esperienza acquisita in fase di attuazione nei diversi Paesi e settori dimostra che ogni strumento presenta vantaggi e svantaggi (*high agreement, much evidence*). Il supporto pubblico, attraverso contributi finanziari, sgravi fiscali, l'istituzione di standard e la creazione di un mercato è importante per un efficace sviluppo, innovazione e commercializzazione di tecnologie (*high agreement, much evidence*). I risultati più degni di nota conseguiti dalla UNFCCC e dal suo Protocollo di Kyoto sono l'aver istituito un quadro di riferimento per una risposta globale alla sfida

dei cambiamenti climatici, stimolato l'attuazione di una serie di politiche nazionali, creato un mercato globale del carbonio e istituito nuovi meccanismi che possono fornire le basi su cui costruire gli sforzi di mitigazione futuri (*high agreement, much evidence*).

La letteratura identifica molte opzioni per il raggiungimento della riduzione globale delle emissioni a livello internazionale attraverso attività di cooperazione. Tali accordi per raggiungere gli obiettivi devono essere efficaci dal punto di vista ambientale, efficienti in termini di costi, tener conto degli aspetti distributivi e di equità, e realizzabili a livello istituzionale (*high agreement, much evidence*).

Sviluppo sostenibile e mitigazione dei cambiamenti climatici

Rendere lo sviluppo più sostenibile attraverso il cambiamento dei sentieri di sviluppo può apportare un grande contributo alla mitigazione dei cambiamenti climatici, ma l'implementazione potrebbe richiedere risorse per superare molteplici barriere. C'è una comprensione crescente delle possibilità di scelta ed attuazione delle opzioni di mitigazione in diversi settori per realizzare sinergie ed evitare conflittualità con altre dimensioni dello sviluppo sostenibile (*high agreement, much evidence*). A prescindere dall'ambizione delle misure di mitigazione, le misure di adattamento sono necessarie. Le politiche (misure) sui cambiamenti climatici pos-



sono essere considerate un elemento integrante delle politiche di sviluppo sostenibile.

Rendere lo sviluppo più sostenibile può aumentare le capacità sia di mitigazione sia di adattamento e ridurre sia i livelli di emissione che la vulnerabilità ai cambiamenti climatici. Possono esistere varie sinergie tra mitigazione e adattamento, come la produzione di biomassa, la gestione del territorio, l'uso dell'energia negli edifici e la gestione delle foreste.

Limitazioni della conoscenza

Esistono ancora rilevanti limitazioni nelle conoscenze scientifiche su alcuni aspetti della mitigazione dei cambiamenti climatici, specialmente nei Paesi in via di sviluppo. Ulteriori studi e ricerche volte a colmare tali lacune ridurrebbero ulteriormente le incertezze e quindi faciliterebbero il processo decisionale relativo alla mitigazione dei cambiamenti climatici.

USA e UE per il dopo KYOTO

Il compromesso raggiunto dall'ultimo G8 sul dopo Kyoto contiene luci ed ombre. La novità positiva più importante è la disponibilità degli Stati Uniti ad impegnarsi attivamente alla definizione di politiche ambientali internazionali che mirino alla riduzione progressiva delle emissioni di gas serra. È quanto mette in risalto un dossier, pubblicato a luglio dal Servizio studi e Servizio affari internazionali del Senato ed elaborato grazie al contributo

di Istituti di ricerca specializzati, dal titolo *Europa e America di fronte alla sfida del riscaldamento climatico*. Nelle conclusioni, che qui si riportano, lo studio afferma che sembra essersi formato un ampio consenso di base sull'esistenza e sulla gravità del fenomeno del riscaldamento globale sia negli Stati Uniti che in Europa.

Gli USA hanno mantenuto a lungo un atteggiamento scettico nei confronti del cambiamento climatico, ed avevano partecipato quasi contro voglia ai negoziati per il Protocollo di Kyoto. La percentuale di cittadini americani preoccupata dal fenomeno è tuttavia cresciuta notevolmente negli ultimi anni, sia per i fenomeni atmosferici anomali che hanno colpito gli Stati Uniti sia per il crescente consenso scientifico che ha certificato in modo inequivocabile l'esistenza effettiva del fenomeno del riscaldamento globale. Anche attori sociali che erano stati i più decisi avversari di qualunque iniziativa in materia, comprese le grandi imprese, hanno cominciato a cambiare posizione.

Le questioni ambientali sono stati centrali anche nelle elezioni di medio termine per il Congresso, e si sono ormai imposte anche a livello federale. Non è un caso che tre dei più importanti candidati per le elezioni presidenziali del 2008 (i senatori Clinton, Obama e McCain) abbiano già preso posizioni molto chiare a favore di regolamentazioni più rigide. C'è pertanto una ragionevole aspettativa che gli USA possano iniziare a partecipare in modo propo-

sitivo alla ricerca di un sistema globale economicamente sostenibile di riduzione delle emissioni di gas serra. L'Unione europea da parte sua appare decisa ad affrontare con determinazione il tema del riscaldamento globale e a svolgere un ruolo trainante a livello internazionale, come dimostrato dall'atteggiamento tenuto in occasione dei negoziati per Kyoto ma anche dalle pressioni che i leader europei stanno esercitando su Bush. Esiste un sostanziale accordo fra i paesi dell'UE sulla necessità di affrontare il problema delle emissioni di gas serra. Il problema maggiore è la capacità dell'Unione di raggiungere gli obiettivi che si è prefissa, capacità messa in dubbio dai risultati non esaltanti della prima fase di attuazione del sistema di vendita delle emissioni.

In conclusione, una maggiore convergenza di posizioni a livello transatlantico appare di cruciale importanza per un successo dei negoziati sul dopo Kyoto che si svolgeranno in ambito Onu. È fondamentale a tal fine che negli USA si consolidi la svolta ambientalista, traducendosi in nuovi provvedimenti a livello federale, e che in Europa si affermi una linea comune sui temi dell'energia, compresa la sicurezza energetica. Tutto ciò è peraltro necessario per convincere anche i paesi in via di sviluppo, le cui attività economiche rischiano di diventare sempre più fonte di inquinamento irreversibile, ad adottare politiche più responsabili all'interno e di maggiore cooperazione a livello internazionale.

Energia e ambiente: la situazione dei nuovi Paesi membri

Dal 2005 il numero dei paesi aderenti all'Unione Europea è passato da 15 a 25 e, naturalmente, i nuovi entrati si sono impegnati a soddisfare la domanda di energia rispettando al contempo il tetto delle emissioni di gas serra fissato dal Protocollo di Kyoto. Complessivamente i paesi dell'UE, entro il 2010, do-

vranno ridurre le emissioni dell'8% rispetto ai livelli del 1990. Per raggiungere questo obiettivo generale, date le diverse basi di partenza, è stato stabilito un target specifico per ogni paese.

Differenze esistono anche fra i nuovi aderenti: Malta e Cipro, data la loro ridotta dimensione geografica ed economica, sono stati esonerati dagli impegni del Protocollo; gli altri otto dovranno invece ridurre le emissioni del 6 o dell'8%.

In realtà questi paesi, secondo i dati dell'Agenzia Europea dell'Ambiente, hanno complessivamente ridotto le emissioni del 23% rispetto al 1990, grazie soprattutto all'introduzione dell'economia di mercato e alla conseguente ristrutturazione o chiusura delle industrie inquinanti o *energy-intensive*. Le loro emissioni sono peraltro destinate a salire a seguito dello sviluppo economico intrapreso in questi ultimi anni, ma nel 2010 saranno comunque abbondantemente al di sotto dei tetti fissati per quell'anno (12% in meno rispetto al 1990).

Unica eccezione la Slovenia, che ha finora ridotto le proprie emissioni del 2% e che per raggiungere il suo target (-8%) dovrà adottare politiche e misure aggiuntive a quelle esistenti.

La situazione energetica dei 10 paesi è estremamente differenziata: alcuni sono fortemente dipendenti dalle importazioni estere (Lettonia e Ungheria dalla Russia, Malta e

Cipro dai paesi arabi), altri possono contare su discrete risorse interne (carbone, nucleare, idroelettrico), tutti comunque dovranno aumentare la quota di fonti rinnovabili nella misura fissata dall'Unione Europea.

Termovalorizzazione in crescita

Le normative sulle discariche e l'aumento dei rifiuti stanno spingendo molti paesi europei a rivedere le strategie di gestione dei rifiuti sviluppando quelle più efficaci dal punto di vista dei costi e delle soluzioni sostenibili.

La Direttiva europea sulle discariche, che pone obiettivi per la riduzione dei rifiuti biodegradabili urbani da mandare in discarica, offre un enorme potenziale di crescita alle soluzioni alternative, tra cui gli inceneritori con recupero energetico (termovalorizzatori), che eliminano i rifiuti non riciclabili e consentono di utilizzare l'energia generata nella combustione per alimentare lo stesso impianto o a favore della comunità locale.

Il mercato legato alla termovalorizzazione sta vivendo un periodo di crescita; attualmente in Europa sono attivi più di 400 impianti destinati ad aumentare come effetto della Direttiva Discariche dell'UE.

Si prevede, infatti, che oltre 100 nuovi impianti saranno installati in Europa entro il 2012.

dall'Unione
Europea

Energia e ambiente:
la situazione
dei nuovi Paesi membri

Termovalorizzazione
in crescita

Biodiesel dalle alghe

Programma di ricerca
marina in Irlanda



Nonostante i vantaggi di questa tecnologia, si registra una notevole opposizione da parte di gruppi politici e comunità locali, che temono l'impatto ambientale dell'incenerimento dei rifiuti.

Risulta, perciò, determinante per i promotori di questa tecnologia lavorare in stretta collaborazione con le comunità locali nell'elaborazione dei progetti di insediamento.

Biodiesel dalle alghe

Un'azienda olandese, BioKing Green Energy ha annunciato di recente lo sviluppo di nuovi foto-bioreattori ad alte prestazioni per la produzione di biodiesel.

L'azienda si dedicherà ora alla coltivazione di alghe, considerate una fonte di energia economicamente fattibile, ecologica e alternativa al petrolio.

La produzione di alghe avverrà in Olanda, Spagna e Portogallo.

Il biodiesel viene generalmente ricavato trattando i raccolti di semi oleosi (colza, girasole ecc.), soluzione che, secondo l'azienda olandese, oltre a sottrarre raccolti ai tradizionali fini alimentari, non sarebbe un modo efficiente o produttivo per produrre oli vegetali. Al contrario le alghe hanno un alto contenuto di olio e crescono in modo molto rapido, persino in ambienti difficili come i deserti e le acque saline.

I foto-bioreattori vengono sviluppati con una tecnologia brevettata, che dovreb-

be consentire di raccogliere le prime alghe dopo pochi giorni e produrre biodiesel a un costo di 5-10 centesimi di euro il litro.

Programma di ricerca marina in Irlanda

L'Irlanda ha dato l'annuncio dell'avvio di *Sea Change, A marine knowledge, research and innovation strategy*, il suo più importante programma di ricerca marina per gli anni 2007-2013 che prevede uno stanziamento di oltre 140 milioni di euro.

L'obiettivo principale è quello di riuscire a far nascere nuove capacità di ricerca, ma anche quello di potenziare le attuali capacità nelle aree principali della ricerca marina e di quella ad essa correlata che viene già svolta dagli enti di ricerca e dalle imprese private.

Il progetto, che intende perciò promuovere lo sviluppo del settore marino come elemento dinamico dell'economia irlandese, è concentrato su tre aree di ricerca:

- *industriale*, indirizzata verso giacimenti di gas e di petrolio offshore, spedizioni e trasporti, e alimenti marini;
- *di scoperta*, in nuove aree, quali l'energia rinnovabile dell'oceano, la biologia marina, gli alimenti funzionali marini, e il rapido cambiamento climatico;

- *di sostegno politico*, informare i decisori pubblici e privati.

Nella prima fase del finanziamento la ricerca concentrerà l'attenzione sulle industrie marittime della pesca, sulla piscicoltura, sulla coltivazione delle alghe marine, sulla gestione della qualità dell'ambiente e dei dati marini. Infatti, alcuni progetti specifici intendono indagare gli effetti del rapido cambiamento climatico su importanti stock ittici commerciali; a tale scopo, nell'ambito del processo scientifico di valutazione degli stock, verranno sfruttate le conoscenze dei pescatori e si cercherà di evitare o di ridurre la pratica di rigettare il pesce di scarto in mare.

Come ha affermato Peter Heffernan, amministratore delegato dell'Istituto marino irlandese, oltre a potenziare le capacità nazionali di utilizzare le vaste risorse marine di cui dispone l'Irlanda e di sfruttarne il valore, si apriranno anche nuove opportunità di collaborazione tra i principali dipartimenti governativi e le agenzie affiliate nel settore pubblico, con il settore terziario e i principali interlocutori industriali.

Sea Change, insomma, può essere uno strumento per finanziare attività scientifiche completamente nuove, per creare nuove *équipe* di scienziati e aprire la strada a scoperte del tutto nuove, basandosi sul ruolo significativo dell'economia della conoscenza.



Politiche per la crescita sostenibile

Nel documento di Programmazione Economico-Finanziaria (DPEF) per gli anni 2008-2011 deliberato dal Consiglio dei ministri il 28 giugno, tra le scelte strategiche per le politiche di riforma nazionale un ampio spazio viene dato alle tematiche per una crescita sostenibile: clima e ambiente, energia, università e ricerca, innovazione e competitività, dedicando un capitolo ad ognuna di esse.

Clima e ambiente

Per far fronte ai mutamenti climatici e alla difesa dell'ambien-

te, ma anche per rispettare tutti gli accordi internazionali che l'Italia ha sottoscritto, il DPEF prevede, tra l'altro, l'impegno del Governo a promuovere l'uso sostenibile delle biomasse e dei biocombustibili, favorendo le filiere nazionali. Ulteriori sforzi saranno indirizzati alla ricerca e allo sviluppo nel campo delle tecnologie di contenimento energetico e della produzione di energia rinnovabile, e per la cogenerazione nel settore del teleriscaldamento. Il Governo si impegna altresì a garantire il pieno funzionamento dei meccanismi flessibili (*Clean Development Mechanism e Joint Implementation*). In tale ottica il Governo organizza una Conferenza nazionale sui cambiamenti climatici (vd. pagg. 20, 21)

Anche strumenti di carattere fiscale, oltre che un corretto uso degli strumenti di mercato potrebbero incoraggiare comportamenti virtuosi dal punto di vista ambientale. Infatti, malgrado la crescente diffusione di strumenti innovativi di regolazione ambientale, gli strumenti tradizionali, quali quelli fiscali rappresentano ancora uno dei principali metodi di indirizzo per le politiche di Kyoto. Andranno pertanto identificati eventuali elementi di contraddizione con gli strumenti di riduzione delle emissioni climalteranti.

Il Governo si impegna, inoltre, a introdurre un sistema di contabilità e bilancio ambientale nello Stato, nelle Regioni e negli Enti locali. Il Governo attribuisce un ruolo centrale al trasporto pubblico locale anche attraverso la predisposizione di un Piano Nazionale sulla mobilità sostenibile nelle aree urbane in situazione di crisi ambientale e intende poten-

ziare il trasporto pubblico e la realizzazione di infrastrutture utili al trasporto collettivo elettrificato. La previsione di incentivi legati a interventi a favore della mobilità pubblica e al miglioramento degli indici di inquinamento e di congestione, nonché l'estensione del concetto di servizio minimo essenziale, contribuiranno a rafforzare i meccanismi di tutela dell'ambiente e il rispetto degli impegni previsti da Kyoto. Il Governo intende avviare in tempi brevi la revisione della strategia d'azione ambientale per lo sviluppo sostenibile del 2002, per renderla coerente con gli indirizzi dettati dalla nuova strategia dell'Unione Europea in materia di sviluppo sostenibile, adottata dal Consiglio Europeo nel giugno 2006. Compatibilmente con le risorse disponibili si confermano, oltre agli interventi applicativi del Protocollo di Kyoto, cinque ambiti di azione che richiamano i principi comunitari: va superata la logica di interventi isolati nella pianificazione delle azioni di tutela ambientale; una corretta gestione del territorio è indispensabile per trovare misure di adattamento che saranno individuate a conclusione della Conferenza nazionale sui cambiamenti climatici; l'Italia dovrà rafforzare l'azione nel settore della biodiversità; occorre procedere al recupero ambientale di siti contaminati; una migliore tutela dell'ambiente marino. Sono inoltre previste revisioni dei meccanismi di incentivazione per l'erogazione dei certificati verdi e del conto energia anche per sostenere la produzione di energia da fonte solare fotovoltaica e solare termodynamica a concentrazione. A tale proposito si pro-

dall'Italia

Politiche per la crescita sostenibile

Indagine del Senato sul clima



muove la realizzazione di almeno 500 MW installati di energia da fonte solare termodinamica a concentrazione e lo sviluppo di una piattaforma nazionale per la produzione di idrogeno da fonti rinnovabili. Anche gli edifici della Pubblica Amministrazione saranno sottoposti a piani di efficienza energetica e sarà favorita l'istituzione di un mercato di scambio regionale di quote di emissione per interventi in settori non regolamentati dall'ordinamento comunitario.

In riferimento al risparmio idrico è prevista la promozione di tecnologie innovative e l'ammmodernamento della rete e delle infrastrutture.

Energia

L'approccio integrato tra politica energetica e politica ambientale, alla base della politica energetica europea, entro il quale l'Italia dovrà inserire le future decisioni in materia di energia, ha come obiettivo quello di conciliare i consumi energetici con la tutela ambientale oltre che la garanzia della competitività del Paese e la disponibilità di energia a prezzi accessibili. Gli obiettivi dell'aumento della sicurezza dell'approvvigionamento, la garanzia della competitività delle imprese comunitarie e la realizzazione dei vantaggi per il consumatore potranno essere raggiunti in un mercato più interconnesso. Resta cruciale il problema del rafforzamento delle infrastrutture energetiche, in particolare nel settore del gas naturale, diversificando anche le rotte di approvvigionamento. In materia di riduzione delle emissioni di gas serra, le ulteriori misure saranno definite in base al principio dell'efficienza da declinare secondo i concetti di "prevenzione delle emissioni" e "tutela attiva dell'ambiente". Per

quanto riguarda la "prevenzione delle emissioni" si dovranno elaborare politiche che riducano la domanda di energia a parità di condizioni di sviluppo: per quanto riguarda il concetto di "tutela attiva dell'ambiente" viene chiamata in causa la rivoluzione industriale e lo sviluppo delle fonti rinnovabili, tra cui le centrali solari termodinamiche. Per fare tutto questo, nell'ambito di uno specifico Piano di azione per l'efficienza energetica, si ritiene importante lo sviluppo di filiere produttive efficienti e la riduzione del consumo di energia nei processi produttivi attraverso, da un lato il potenziamento dell'iniziativa Industria 2015, dall'altro la prosecuzione e l'estensione delle misure fiscali per incentivare l'efficienza energetica degli edifici e delle apparecchiature d'uso dell'energia. Tutto ciò non potrà prescindere dalla ricerca, da rilanciare attraverso un programma di medio-lungo termine dedicato allo sviluppo di nuove tecnologie per l'efficienza, lo sfruttamento delle fonti rinnovabili, la cattura e il sequestro chimico della CO₂, il ciclo dell'idrogeno e le nuove frontiere tecnologiche nella produzione energetica.

Università e ricerca

Per il DPEF l'Italia deve avere in questo settore obiettivi ambiziosi, ancorché coerenti con gli equilibri finanziari. Il Paese si deve impegnare a colmare il divario che emerge per quanto riguarda i parametri di riferimento prevalenti in ambito internazionale. L'obiettivo da raggiungere a medio termine per gli investimenti in ricerca e sviluppo è il 2,5% rispetto al Pil, di cui due terzi nel settore privato. Occorre destinare le risorse pubbliche,

congiuntamente all'iniziativa privata, alle infrastrutture per la ricerca e alla valorizzazione dei ricercatori. A monte dell'investimento diretto in ricerca, occorre aumentare e riqualificare quello in formazione universitaria, dallo 0,88% all'1,2% rispetto al Pil, migliorando la qualità attraverso sistemi premiali, eliminando zone di inefficienza e promuovendo rigore, trasparenza e migliori pratiche di gestione. A fronte di importanti innovazioni già in corso (Agenzia per la valutazione dell'università e della ricerca, nuovo sistema di reclutamento dei ricercatori, rifinanziamento della ricerca attraverso il Piano nazionale 2008-2010, Industria 2015, riforma degli Enti della ricerca ecc.), sono necessari nuovi investimenti pubblici e soprattutto privati. Il quadro europeo, soprattutto dopo il varo del VII programma Quadro, richiede di migliorare la capacità della ricerca italiana di attingere alle risorse dell'UE. Compatibilmente con il bilancio, le risorse andranno destinate a grandi programmi settoriali per le reti, le risorse umane, la ricerca industriale e gli accordi con le Regioni. Un piano di grandi infrastrutture di ricerca nazionali di rango europeo che sostenga il rilancio tecnologico e di aggiornamento della ricerca e della formazione del Paese.

Per quanto riguarda i settori ad elevato tasso di innovazione tecnologica, il Governo intende privilegiare le misure idonee a colmare il divario nei confronti delle economie più dinamiche, favorendo le attività di ricerca e sviluppo dei settori ad alta tecnologia e utilizzo di tecnologie digitali, in particolare quelli aerospaziali, dell'elettronica e cantieristi-

co connessi anche alla sicurezza nazionale.

Innovazione e Competitività

L'azione del Governo è orientata al sostegno della competitività del sistema produttivo già delineata nell'ambito del documento Industria 2015. In particolare, lo sviluppo del sistema industriale proseguirà verso obiettivi e tematiche ad alto contenuto tecnologico favorendo la cultura dell'innovazione della ricerca. Il nuovo sistema di interventi sarà volto ad innalzare il livello tecnologico degli investimenti industriali stimolando e sostenendo un più alto tasso di ricerca e di innovazione nei comparti produttivi di maggiore specializzazione del nostro Paese nonché a sostenere con adeguati strumenti automatici sia gli investimenti produttivi che le spese di ricerca e sviluppo e a riqualificare il sistema dei distretti industriali e dei sistemi produttivi locali.

Due sono le linee di intervento per sostenere l'industria: la prima riguarda il rafforzamento dei meccanismi automatici fiscali finalizzati a garantire un aiuto stabile e generalizzato alle imprese; la seconda è finalizzata a sostenere lo sviluppo e l'adozione di tecnologie italiane in raccordo con i grandi filoni di innovazione tecnologica definiti dalla Commissione Europea nell'ambito di grandi aree strategiche. Particolare attenzione sarà prestata alla riqualificazione ambientale dei siti industriali per garantire la tutela del territorio e lo sviluppo delle attività produttive.

Per rafforzare le attività di ricerca è prevista la definizione di piani di innovazione strategici anche attraverso il ricorso a risorse e competenze pubbliche (Università, Enti di ricerca, ENEA).

Indagine del Senato sul clima

Dopo lo schema di relazione all'Assemblea sulle tematiche relative ai cambiamenti climatici in discussione da giugno alla Commissione Ambiente della Camera e che andrà in aula a settembre, anche la omologa Commissione del Senato ha discusso e approvato a fine luglio una relazione sulle politiche e misure da adottare per far fronte ai problemi legati ai cambiamenti climatici.

Vengono proposti alcuni punti essenziali per una efficace azione di contrasto che possa contare anche su concrete risorse da indicare nella legge Finanziaria.

Il primo impegno deve essere la piena attuazione degli impegni previsti dal Protocollo di Kyoto in adesione agli obiettivi europei per il 2020. Per raggiungere questo obiettivo, che prevede la riduzione di quasi 100 milioni di tonnellate di anidride carbonica, vengono indicate le misure necessarie e possibili da intraprendere così come le azioni necessarie per dare piena attuazione all'Agenda di Lisbona.

Tra i cambiamenti radicali da avviare c'è quello nel settore dei trasporti, incentivando il trasporto su ferro con adeguati investimenti nelle infrastrutture e nei servizi. Così come, altresì, vanno incentivate tutte le energie rinnovabili non solo attraverso l'estensione del conto energia (attualmente previsto solo per il fotovoltaico), ma anche attra-

verso l'emanazione di linee guida nazionali che ne disciplinino e ne favoriscano la diffusione.

Si raccomanda anche l'adozione di ogni tipo di strumento, a partire da quello fiscale, in grado di promuovere l'innovazione tecnologica e la ricerca rivolte all'efficienza e al risparmio energetico.

Una ulteriore raccomandazione viene anche fatta affinché il documento di programmazione DPEF abbia un allegato Ambientale che possa costituire un riferimento importante per la manovra economica finanziaria del Governo.

Il documento di Palazzo Madama è stato approvato al termine di una *Indagine conoscitiva sui cambiamenti climatici, anche in vista della Conferenza nazionale su energia, ambiente e attuazione del Protocollo di Kyoto*, che da gennaio ha visto la Commissione Territorio, ambiente, beni ambientali impegnata a raccogliere le audizioni di scienziati, istituzioni, associazioni e dei principali attori dell'industria energetica italiana.

Secondo il relatore Francesco Ferrante, dall'indagine è emerso uno scenario che vede l'Italia in pesante ritardo ed è quindi necessaria una svolta che si può ottenere soltanto attraverso una drastica politica di riduzione delle emissioni che metta al centro la riconversione del sistema energetico nazionale puntando sul risparmio e sulla produzione di energia da fonti rinnovabili. Con gradualità, ma determinazione, è necessario avviarsi verso l'uscita dalla cosiddetta era del fossile riducendo fortemente il ricorso alle fonti inquinanti.



Donne in luce, donne in ombra

È possibile dare luce al soggetto donna? In occasione dell'anno europeo delle pari opportunità per tutti, è stato organizzato, dal Comitato Pari Opportunità, il 4 luglio in ENEA, un incontro per aiutare a capire, attraverso un dialogo spontaneo e costruttivo, gli ostacoli e le condizioni per allontanarsi sempre di più dalle linee d'ombra.

La storia delle donne, benché si soffermi sulle grandi vicende collettive di cui sono state partecipi e protagoniste, disegna profili individuali molto

spesso ancora in ombra. Si conoscono processi e trasformazioni che le hanno condotte ad assumere ruoli più attivi nel mondo del lavoro, e in particolare nel mondo della scienza, ma la loro visibilità sociale resta sempre e comunque un'impresa quasi impossibile.

Quali trasformazioni, allora, per evitare che continui anche in questo inizio di secolo quello spreco di talenti e di intelligenze femminili, che caratterizza molti sistemi produttivi? Uno dei percorsi da intraprendere riguarda sicuramente l'esplorazione del "misterioso" e polifonico mondo femminile e, in particolare, dei rapporti/non rapporti che intercorrono tra donne, nell'ambito della loro vita lavorativa.

Il Seminario si è concluso con la Tavola Rotonda "Eva contro Eva: alleata o nemica?", che ha cercato di affrontare la questione e di dare qualche risposta: la solidarietà e la coesione potrebbero concorrere ad incrementare l'esigua quota delle donne in luce.

All'incontro hanno partecipato, tra le altre, Claudia Bettiol, Consigliera di Amministrazione ENEA, Fiorenza De Bernardi, Presidente dell'Associazione Donne dell'Aria, Elisabetta Strikland, Professoressa dell'Università di Tor Vergata, Teresa Vergalli, Insegnante ed ex Staffetta partigiana.

Graduatorie di concorsi ENEA

Graduatorie di merito della selezione per il reclutamento di n. 4 unità di personale laureato in

discipline umanistiche-amministrative con esperienza, da assumere con contratto di lavoro a tempo determinato mediante selezione per titoli ed esame colloquio (G.U. del 28 luglio 2006 - 4^a Serie Speciale "Concorsi ed Esami" n. 57).

POSIZIONE L.A/01 - N. 1 laureato in giurisprudenza con esperienza post-lauream di almeno un anno, in materia di lavoro e di previdenza sociale con particolare riguardo alla giuslavoristica pubblica e al rapporto di lavoro alle dipendenze della pubblica amministrazione e correlata consulenza legale giudiziale e stragiudiziale afferente il rapporto di pubblico impiego.

Punteggio

1° ALTORIO Maria Teresa	48,250 /60
2° MARCELLI Carla	46,650 /60
3° FIORI Simona	46,100 /60
4° POLILLO Vanessa	39,450 /60
5° PUPATTI ENRICA	33,167 /60

POSIZIONE L.A/02 - N. 1 laureato in giurisprudenza con esperienza post-lauream di almeno un anno, in tema di contenzioso innanzi la giurisdizione civile e amministrativa, con particolare riferimento alla consulenza legale per problematiche giudiziarie scaturenti da procedure concorsuali di scelta del contraente, nonché da questioni legate alla fase di esecuzione del contratto sia in sede giudiziale che stragiudiziale.

dall'ENEA

Donne in luce,
donne in ombra

Graduatorie
di concorsi ENEA

cronache

Punteggio

1° ZAVAGLIA Daniela	47,000 /60
2° CARUOCCIOLO Angelita	46,300 /60
3° PANTALEO Annalisa	41,200 /60
4° PORCELLANA Federica	38,850 /60

POSIZIONE L.A/03 - N. 1 laureato in giurisprudenza o in scienze politiche con esperienza, post-lauream di almeno due anni, in tema di applicazione di normative comunitarie e nazionali sugli appalti pubblici, con particolare riferimento alle forniture e ai servizi di natura tecnologica e/o di ricerca e correlati procedimenti di stipula dei contratti di appalto.

Punteggio

1° IANNUZZI Claudio	50,000 /60
2° GARZIONE Fabio	43,100 /60
3° NEGRO Massimiliano	43,000 /60
4° DEL BOVE ORLANDI Alessandro	42,100 /60
5° MARCELLI Giuseppe	37,167 /60

POSIZIONE L.A/04 - N. 1 laureato in scienze della comunicazione con esperienza, post-lauream di almeno un anno, in attività di comunicazione in materia di energia e ambiente e di divulgazione tecnico scientifica attraverso strumenti multimediali, internet, emittenti televisive e radiofoniche, di rapporti con i media e di organizzazione di eventi.

Punteggio

1° MATERA Maurizio	48,600 /60
--------------------	------------

2° MARCONI Stefania	44,500 /60
3° LESTI Chiara	42,500 /60
4° KROPP Francesca	39,833 /60
5° DI MARCANTONIO Gianluca	35,100 /60

Graduatorie definitive della selezione per il reclutamento di n. 4 unità di personale laureato in discipline umanistiche-amministrative con esperienza, da assumere con contratto di lavoro a tempo determinato mediante selezione per titoli ed esame colloquio (G.U. del 28 luglio 2006 - 4^a Serie Speciale "Concorsi ed Esami" n. 57).

POSIZIONE L.A/01 - N. 1 laureato in giurisprudenza con esperienza post-lauream di almeno un anno, in materia di lavoro e di previdenza sociale con particolare riguardo alla giuslavoristica pubblica e al rapporto di lavoro alle dipendenze della pubblica amministrazione e correlata consulenza legale giudiziale e stragiudiziale afferente il rapporto di pubblico impiego.

1° ALTORIO Maria Teresa

2° MARCELLI Carla
3° FIORI Simona
4° POLILLO Vanessa
5° PUPATTI ENRICA

POSIZIONE L.A/02 - N. 1 laureato in giurisprudenza con esperienza post-lauream di almeno un anno, in tema di contenzioso innanzi la giurisdizione civile e amministrativa, con particolare riferimento alla consulenza legale per problematiche giudiziarie scaturenti da procedure concorsuali di scelta del

contraente, nonché da questioni legate alla fase di esecuzione del contratto sia in sede giudiziale che stragiudiziale.

1° ZAVAGLIA Daniela

2° CARUOCCIOLO Angelita
3° PANTALEO Annalisa
4° PORCELLANA Federica

POSIZIONE L.A/03 - N. 1 laureato in giurisprudenza o in scienze politiche con esperienza, post-lauream di almeno due anni, in tema di applicazione di normative comunitarie e nazionali sugli appalti pubblici, con particolare riferimento alle forniture e ai servizi di natura tecnologica e/o di ricerca e correlati procedimenti di stipula dei contratti di appalto.

1° IANNUZZI Claudio

2° GARZIONE Fabrizio
3° NEGRO Massimiliano
4° DEL BOVE ORLANDI Alessandro
5° MARCELLI Giuseppe

POSIZIONE L.A/04 - N. 1 laureato in scienze della comunicazione con esperienza, post-lauream di almeno un anno, in attività di comunicazione in materia di energia e ambiente e di divulgazione tecnico scientifica attraverso strumenti multimediali, internet, emittenti televisive e radiofoniche, di rapporti con i media e di organizzazione di eventi.

1° MATERA Maurizio

2° MARCONI Stefania
3° LESTI Chiara
4° KROPP Francesca
5° DI MARCANTONIO Gianluca



Premio "Giulio Natta"

Il Premio Giulio Natta, giunto alla sua terza edizione, si rivolge a laureati in numerose discipline scientifiche autori di una tesi su temi inerenti lo sviluppo e l'impiego di componenti e sistemi fotonici per l'industria, la strumentazione e la sensoristica. Quest'anno è stato assegnato ad Ivano Franzini, laureato in Ingegneria Elettronica presso l'Università di Roma Tre, che ha svolto la sua tesi presso il Centro Ricerche ENEA di Frascati, tutor Rosa Maria Montereali del Dipartimento Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali. La tesi, a carattere

sperimentale, *Realizzazione, caratterizzazione e miglioramento di un rivelatore di immagini ai raggi-X basato su Fluoruro di Litio*, illustra lo sviluppo di un rivelatore di immagini innovativo per raggi-X basato su difetti puntiformi luminescenti nel fluoruro di litio. Questo materiale, simile al comune sale da cucina e sensibile alle radiazioni ionizzanti, è stato proposto e sperimentato per la prima volta da un gruppo di ricercatori di Frascati come lastra radiografica ad altissima risoluzione spaziale ed elevata dinamica di contrasti, facilmente leggibile tramite un microscopio ottico, e adatta per la realizzazione di microradiografie e immagini di microscopia a raggi-X, anche su campioni biologici *in vivo*. Si tratta di un brevetto ENEA del 2002, che può avere ricadute scientifiche e tecnologiche in numerosi settori delle scienze della vita, nanotecnologie, ingegneria di materiali, fisica dei dispositivi ecc.. Il rivelatore innovativo, maneggevole, versatile e compatto, è attualmente di forte interesse per numerose applicazioni nella litografia, nella fotonica e nella microscopia, quali la realizzazione di maschere per la microelettronica, la scrittura di nano-strutture luminescenti e la realizzazione di sorgenti di luce puntiformi e micro-laser, *l'imaging* di campioni biologici, l'indagine di microstrutture, di dispositivi miniaturizzati e di nuovi materiali, anche in forma di film sottile, nonché la caratterizzazione di sorgenti di raggi X particolarmente brillanti per uso scientifico, spaziale e medicale. Il Premio Giulio Natta, che intende ricordare l'impegno e l'attività scientifica del Nobel per la Chimica del 1963, è stato consegnato il 31 maggio 2006 dal ministro dello Svi-

luppo Economico e Sostenibile, Pier Luigi Bersani, nel corso di un incontro con l'ambasciatore USA, Ronald Spogli, sul tema "Strategia di proprietà industriale, lotta alla contraffazione e innovazione".

Conferenza & esposizione europea sulle biomasse

Si è svolta a Berlino dal 7 all'11 maggio, organizzata da ETA-Renewable Energies di Firenze e WIP-Renewable Energies di Monaco, la 15ª edizione della "Conferenza ed Esposizione Europea sulle Biomasse - dalla ricerca allo sviluppo del mercato - per l'energia, l'industria e la tutela del clima". La Conferenza, oltre ad essere l'evento europeo più importante su questo tema, volto a mettere in contatto il mondo della ricerca con il mercato e a favorire quindi il dialogo tra scienza e impresa, è un'occasione di incontro, a livello internazionale, pensata e dedicata a tutti coloro che operano professionalmente nel settore delle biomasse, stimolando al tempo stesso anche l'interesse di giovani ricercatori e studenti. Quest'anno la manifestazione ha visto la partecipazione di circa 1.450 persone provenienti da 72 diversi paesi, a testimonianza che il mercato sulle biomasse sta vivendo un momento di grande crescita. Dopo Roma 2004 e Parigi 2005, l'ENEA è stato presente con un proprio stand, dal titolo $\text{bioE}_{\text{energy}} = \text{bio-m}_{\text{ass}}\text{c}2$, dove attraverso alcuni pannelli si illustrava un ideale percorso sulle diverse attività dell'Ente nel settore. Partendo

Incontri

Premio
"Giulio Natta"

Conferenza
& esposizione europea
sulle biomasse

Notte europea
della ricerca 2007

Docet: Certificazione
energetica degli edifici



da "Agro-energy reseach & development", che riassumeva i contenuti del Progetto Biocombustibili dell'ENEA, si passava al tema dei distretti agro-energetici, con gli esempi di azioni in corso: uno nazionale sulla Valle dei Latini (Lazio) "Agro-energy rural districts: a case study in Central Italy", e uno internazionale "Agro-energy rural districts: Kalingrad an international feasibility study". Con "Screening and assessing productivity and duration of herbaceous biomass in South Italy" venivano illustrate le attività di ricerca sulle colture energetiche, finalità e risultati; mentre a chiusura del percorso si trattavano le tecnologie di conversione, e in particolare la gassificazione "Production of electricity from gasification of ligno-cellulose biomass" e la produzione di etanolo da materiali cellulosici "Steam explosion: Biomass pre-treatment for the production of biofuel and biomass-based materials".

Per informazioni
clementel@casaccia.enea.it

Notte europea della ricerca 2007

Dopo il successo della passata edizione, torna a Frascati la Notte della Ricerca.

Il nuovo progetto della *Researchers' Night 2007*, presentato dai Laboratori Nazionali dell'INFN di Frascati, è risultato il primo dei 40 progetti finanziati dalla Commissione Europea ed ha ottenuto l'Alto Patronato del Presidente della Repubblica.

Il 28 settembre, nel corso di una lunga "notte bianca" che si terrà nella città di Frascati e che si svolgerà in contemporanea con altri siti europei, scienza e ricerca incontreranno il vasto pubblico in una grande

agorà, dove si potrà trovare: il mondo dei quark e l'evoluzione dell'universo, studiati con gli acceleratori di particelle dell'INFN; l'astrofisica dell'INAF; la ricerca di base dell'ENEA nel campo dell'energia alternativa e dell'ambiente; la parte più tecnologica del CNR e il mondo delle attività spaziali dell'ESA-ESRIN.

Il programma, approvato dalla Comunità Europea, prevede laboratori aperti con percorsi scientifici guidati, dibattiti e conferenze, osservazioni stellari, proiezioni cinematografiche, teatro di ricerca ed eventi musicali. A questi si aggiungerà anche un viaggio nella tradizione eno-gastronomica regionale e una serie di attività ludiche per i bambini.

La *Researchers' Night 2007* si propone di avvicinare i cittadini al mondo della ricerca, per rilanciare il fondamentale ruolo della scienza nella società. Si tratta di una grande opportunità per mettere in relazione e in contatto scienziati e ricercatori con il mondo delle istituzioni, della scuola, della terza età e dei cittadini, attraverso una serie di eventi e di spettacoli a carattere prevalentemente scientifico, ma non solo.

L'evento, presentato dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), in collaborazione con gli enti di ricerca presenti nell'area di Frascati (ENEA, ESA-ESRIN, INAF), è promosso dalla Comunità Europea con il contributo della Regione Lazio – Assessorato alla Cultura, Spettacolo e Sport, della FILAS (Finanziaria Laziale di Sviluppo), della Provincia di Roma – Assessorato alla Mobilità e Trasporti, dell'XI Comunità Montana e del Comune di Frascati – Assessorato alle Politiche Culturali.

Docet: certificazione energetica degli edifici

È stato presentato, nel corso di un Workshop tenutosi in ENEA a fine giugno, "DOCET", una procedura di calcolo semplificato finalizzata alla certificazione energetica volontaria e obbligatoria degli edifici residenziali esistenti, da effettuare secondo i requisiti previsti dal Dlgs 192/05, così come aggiornato dal Dlgs 311/06.

DOCET è il risultato di uno sforzo congiunto di esperti dell'ENEA e del CNR che sono riusciti a mettere a disposizione degli utenti finali uno strumento agile, semplice e di basso costo. Oltre a definire la classe energetica dell'edificio, DOCET fornisce informazioni relative alla quantità di CO₂ prodotta, al risparmio economico ottenibile e permette di valutare il contributo dell'applicazione di collettori solari e pannelli fotovoltaici. Queste ulteriori indicazioni risultano utili per favorire una maggiore consapevolezza degli utenti finali sui vantaggi conseguibili con interventi di risparmio e riqualificazione energetica degli edifici, con positive ricadute economiche ed ambientali.

Il contributo allo sviluppo di questa metodologia da parte di ENEA, che ha una pluriennale esperienza tecnico-scientifica nel settore, rientra nel quadro delle iniziative di supporto al Governo centrale per l'attuazione dei provvedimenti adottati in materia di efficienza e risparmio energetico e di valorizzazione e integrazione delle fonti rinnovabili.



Clima: istruzioni per l'uso

Vincenzo Ferrara,
Alessandro Farruggia
Edizioni Ambiente, 2007,
pagine 320, 20,00 €

Il tema dei cambiamenti climatici ormai da parecchi anni, ma in particolare in quelli più recenti, è presente ormai quotidianamente sui media e viene rappresentato come uno dei fenomeni che minacciano più gravemente il pianeta, mettendo a rischio l'esistenza stessa della razza umana. Secondo inchieste recenti rappresenta una delle maggiori preoccupazioni dell'opinione pubblica come il

terrorismo e l'occupazione. Ma cosa sappiamo esattamente di tale fenomeno? Le nostre preoccupazioni sono giustificate da conoscenze scientifiche adeguate? Probabilmente la maggior parte delle volte non è così. Ecco dunque la necessità di un'informazione scientifica approfondita e corretta, ecco l'utilità di libri come quello di Vincenzo Ferrara e Alessandro Farruggia (climatologo dell'ENEA, Focal Point Nazionale dell'IPCC dal 1992 al 2006, e coordinatore della Conferenza Nazionale sui cambiamenti climatici di settembre 2007 il primo, di cui pubblichiamo un articolo in questo numero della rivista, giornalista esperto in temi ambientali il secondo) il cui intento è quello di far capire che "per prendere seriamente e serenamente in considerazione il problema dei cambiamenti climatici occorre studiare e comprendere che cos'è veramente il clima e come funziona il sistema climatico". La tematica del clima presenta, secondo gli autori tre aspetti principali: uno conoscitivo, basato sulla ricerca scientifica del sistema climatico e delle complesse interrelazioni fra le sue varie componenti; uno valutativo, basato sulle analisi dei possibili impatti ambientali e socio-economici; uno di natura tecnico-politica, basato sull'individuazione delle più idonee strategie di sviluppo socio-economico e di gestione dell'ambiente globale per prevenire le variazioni climatiche e minimizzarne le conseguenze. In base a questo schema Ferrara e Farruggia dividono il libro in tre parti: nella prima presentano le conoscenze scientifiche attuali; nella

seconda esaminano le risultanze sperimentali sui cambiamenti in atto ma anche le possibili evoluzioni future del clima secondo i modelli climatici oggi più accreditati: nella terza il problema viene trattato secondo l'impostazione data dalle Nazioni Unite, ossia di un rischio cui far fronte con adeguate strategie, che vengono illustrate nella loro impostazione e grado di attuazione. Il clima in passato è sempre cambiato e continuerà a farlo. Il problema è che ora sta cambiando troppo in fretta. In due secoli l'anidride carbonica in atmosfera è aumentata del 35% passando da 280 a 380 parti per milione, mentre nei circa 1000 anni precedenti non aveva mai superato 290 ppm. Fatto ancor più preoccupante è che il 10% di questo aumento si è verificato negli ultimi quindici anni. L'umanità non aveva mai sperimentato un incremento della temperatura come quello registratosi nel secolo scorso quando è cresciuta di 0,65°C. Anche in futuro le temperature continueranno a crescere. Intanto cresceranno comunque di 0,60°C a causa dell'inerzia termica del sistema climatico, anche se bloccassimo ora ogni emissione di gas serra. Secondo lo scenario minimale dell'IPCC l'aumento oscillerà tra 1,5 e 2,8°C, secondo quello massimale tra 3,5 e 5,8°C. I valori più probabili della temperatura media globale dovrebbero però essere compresi tra 2,3 e 4,1°C. Ma cosa si sta facendo per affrontare questa grave minaccia? Secondo quanto afferma l'economista Nicholas Stern, nel suo rapporto della fine del 2006, abbiamo di fronte da 10 a 20 anni per attuare una politica

Letture

Clima: istruzioni per l'uso
State of the World 2007



adeguata alla sfida. I costi di un intervento immediato potrebbero corrispondere all'1% del PIL mondiale, ma quelli di un mancato intervento sarebbero di gran lunga più alti: dal 5 al 20% del pil mondiale. Secondo gli autori, nonostante le varie iniziative a livello mondiale, "ancora non ci siamo". Si avverte, come si è espresso Kofi Annan alla Conferenza di Nairobi nel novembre 2006, "una carenza di leadership" in un tema che dovrebbe essere "considerato nell'agenda mondiale alla stessa stregua della lotta alla povertà, alle guerre, al terrorismo". L'auspicio degli autori è che il quarto rapporto dell'IPCC, che sarà completato nel corso del 2007, contribuisca a dotare i decisori politici di quella consapevolezza e di quella leadership auspicata da Kofi Annan.

State of the World 2007

Worldwatch Institute
Edizioni Ambiente, 2007,
pagine 432, 20,00 €

Oggi, più che in ogni altro momento storico, il futuro del pianeta verrà deciso nelle città. La battaglia per la salvaguardia dell'integrità degli ultimi ecosistemi non verrà combattuta nelle zone a rischio, come le foreste tropicali o la barriera corallina, bensì sullo sfondo dei panorami più innaturali: le città. Questi ecosistemi non potranno continuare a fornire alle città cibo, fibre, acqua dolce e stabilità climatica perché per due terzi questi 'servizi della natura' sono già gravemente compromessi. Ma la missione di salvare le città del mondo di oggi - e non far loro subire la fine delle gran-

di civiltà Maya, abbandonate nelle foreste per il collasso degli ecosistemi circostanti dopo secoli di sfruttamento eccessivo - può venire solo dall'atteggiamento positivo mostrato da quelle comunità che stanno cominciando a produrre all'interno delle città anche beni primari come cibo ed energia. Ad Accra gli agricoltori urbani coltivano ortaggi nei cortili abbandonati; a Barcellona più della metà degli edifici produce acqua calda in proprio dal sole. A Shanghai sta nascendo, su un'isola sul fiume, una nuova città ecologica. *State of the World* di quest'anno punta perciò l'attenzione sui problemi che i sistemi urbani di tutto il mondo si trovano ad affrontare. Le città si espandono in modo incontrollato, trasformandosi in megapoli ingestibili dal punto di vista sociale e ambientale. Questi focolai di inquinamento, la cui crescente impronta ecologica è ben visibile nelle immagini satellitari, sono tra i maggiori responsabili del cambiamento climatico. Per renderli sostenibili e farne dei luoghi più sani in cui vivere si dovrà ricorrere a tecnologie all'avanguardia e politiche ambientali innovative. Come dice il brasiliano Jaime Lerner, ex governatore del Paraná il tratto distintivo di una "buona" città del futuro sarà la capacità di riavvicinare i suoi residenti alla natura, "Equità sociale e sensibilità ambientale, questa è la strada!". Ma attenzione, per consentire una trasformazione positiva delle nostre città è importante continuare a pensare in termini di emergenza; pensare di entrare in azione solo una volta trovate le risposte e la disponibilità delle risorse comporta immobilismo, la mancanza di ri-

sorse non deve giustificare l'inerzia. La pianificazione urbana è un processo soggetto a continui aggiustamenti; pensare di progettare lo sviluppo di una città solo dopo aver considerato tutte le variabili possibili è pretendere troppo. È inutile elaborare soluzioni in base a previsioni ventennali o trentennali, poiché probabilmente tra 20 o 30 anni i problemi saranno completamente diversi: abbiamo bisogno di politiche urbane capaci di generare un cambiamento da subito e non tra decenni, spetta a noi oggi scoprire nuove strade. "La sostenibilità è un'equazione tra quello che si risparmia e quello che si spreca" e quando lo spreco si avvicina allo zero la sostenibilità tende all'infinito. Non bisogna mai dimenticare che i rifiuti sono la fonte di energia più abbondante e una città sostenibile non può permettersi il lusso di lasciare dei quartieri privi di buone infrastrutture e servizi, il centro non può rimanere deserto per 8 ore al giorno. "Occorre integrare le funzioni mancanti, i concetti di "città 24 ore su 24" e di attrezzature versatili e plurifunzionali sono elementi essenziali della sostenibilità." I centri storici, poi, sono tra i principali punti di riferimento di una città e ne costituiscono l'elemento che la caratterizza fin dalla fondazione. Ma queste aree spesso sono soggette a fenomeni di svalutazione e di degrado. Una città è un sogno collettivo da realizzare, e i responsabili dello sviluppo urbano devono progettare in modo chiaro degli scenari che possano essere condivisi dalla maggioranza e siano in grado di mobilitare un'intera generazione.



Indice 2006

Il numero romano indica il fascicolo della rivista, la seconda cifra la pagina.

PRIMO PIANO

Nuova norma sulla gestione ambientale, Luca Andriola, Roberto Luciani, Silvio Sonnino, I, 4

Rapporto sull'energia in Medio Oriente e Nord Africa, International Energy Agency, II, 4

Lo stato dell'ambiente nel 2005, Corrado Clini, II, 14

Umberto Colombo, Giuseppe Lanzavecchia, III, 4

Lo sviluppo delle rinnovabili: una opportunità per il sistema del paese, Carlo Manna, III, 9

L'ENEA per il risparmio energetico, Emilio D'Errico, IV, 6

Il Rapporto del Chernobyl Forum, Paola Batistoni, IV, 29

Un nuovo "codice" per l'ambiente, Maurizio Coronidi, Gaia Checcucci, Elio Carlo, V, 6

L'ENEA e le tecnologie per la salute, Donatella Tirindelli, V, 18

Il fotovoltaico: sviluppo della ricerca e opportunità per l'industria, Anna De Lillo, VI, 6

Intervista all'On. Umberto Guidoni, *Parlamentare Europeo*, Paola Batistoni, VI, 20

SPAZIO APERTO

Il Rapporto Energia e Ambiente 2005, Unità di Agenzia per lo Sviluppo Sostenibile-Advisor, I, 12

Una strategia energetica per l'Europa, Commissione Europea, II, 25

Strategia Europea per i biocarburanti, Commissione Europea, III, 31

La dimensione etica dei cambiamenti climatici, Vincenzo Ferrara, III, 40

RIFLETTORE SU

La metrologia nello sviluppo delle attività umane, Raffaele Fedele Laitano, IV, 45

I Centri secondari di taratura SIT dell'ENEA, Leonardo Cianciotta, Emanuele Di Palma, Franco Lateana, Renzo Romagnoli, Roberto Silvestro, Aldo Terrusi, Marcello Timpanaro, V, 33

La gestione dei rifiuti urbani, Pasquale De Stefanis, Maurizio Coronidi, Vito Iaboni, Maria Francesca Scaldaferrri, Andrea Rossi Marcelli, Giulia Sagnotti, Elisabetta Bemporad, VI, 26

STUDI E RICERCHE

Cambiamenti climatici: il congelamento per caldo eccessivo, Vincenzo Ferrara, I, 33

L'ingegneria computazionale applicata al solare termodinamico, Giuseppe Mauro Giannuzzi, Adio Miliozzi, I, 43

Strumenti per le politiche di sostenibilità territoriale, F. D'Amico, M. Mihai Buleandra, M. Velardi, M. Buleandra, I. Tanase, I, 57

Biocarburanti in Italia: ostacoli da superare e opportunità di sviluppo, Vito Pignatelli, Chiara Clementel, II, 32
La certificazione di qualità in un laboratorio di ricerca, Maria Litido, Mauro Cané, Ruggero Lorenzelli, Stefano Salvi, II, 44

Il piano di gestione solventi quale fonte di indicatori di eco-efficienza, Flaviano D'Amico, Marian Mihai Buleandra, Maria Velardi, Ion Ianas, II, 55

Il recupero di suoli e sedimenti contaminati, Isabella Mazziotti, Margherita Conditelli, Paolo Massanisso, Elisa Nar-



di, Carlo Cremisini, II, 67
Solare a concentrazione: R&S sul tubo ricevitore, Antonio De Luca, Alessandro Antonaia, III, 48

Cicli termochimici di idrolisi per la produzione di idrogeno, Alberto Giaconia, Pietro Tarquini, Mauro Vignolini, III, 58

Fattori di suscettibilità nello sviluppo dei tumori cutanei murini, Mariateresa Mancuso, Simona Leonardi, Anna Saran, III, 75

La certificazione energetica degli edifici residenziali, Vincenzo Lattanzi, IV, 66

I distretti industriali come laboratori per politiche di sostenibilità territoriale, Maria Velardi, Flaviano D'Amico, V, 58

Scenari europei di approvvigionamento dell'idrogeno e possibile apporto del Nord Africa, Raffaele Liberatore, Antonio Mattucci, Pietro Tarquini, VI, 59

SCIENZA, TECNICA, STORIA & SOCIETÀ

Poesia della tecnica: Majakovskij, due chiacchiere con la Tour Eiffel e il ponte di Brooklyn, F. Borrelli, I, 70

Ontologia della tecnica: Derida, Ferraris e il telefonino, Fausto Borrelli, II, 83

Kapp e Mc Luhan: "Homo Technicus" e "Sposa meccanica"(I), Fausto Borrelli, III, 84

Kapp e Mc Luhan: "Homo Technicus" e "Sposa meccanica"(II), Fausto Borrelli, IV, 80

Heidegger, la tecnica e la crisi ambientale (I), Fausto Borrelli, V, 76

Heidegger, la tecnica e la crisi ambientale (II), Fausto Borrelli, VI, 78

APPUNTI DI

Radioprotezione, Emilio Santoro, IV, 78

Radiazioni ionizzanti per la radioterapia, Emilio Santoro, V, 74

Effetto serra e clima, Emilio Santoro, VI, 76

NOTE TECNICHE

Misurazioni del radon nei Centri ENEA, Silvia Penzo, Massimo Calamosca, I, 79

Etichette ecologiche per un approvvigionamento eco-efficiente, Milena Presutto, I, 83

Uso dell'indice IRNA per la valutazione della qualità ambientale, Loris Pietrelli, Stefano Ciferri, Patrizia Menegoni, II, 87

CRONACHE

dal Mondo

Centro italo-cinese per ecotecnologie, I, 86
 Accordo di cooperazione tra ENEL ed EDF, I, 86
 Tecnologie avanzate per Oil & Gas, I, 86

Nuovo piano USA per l'energia, II, 91
 Brasile all'avanguardia nei biocarburanti, II, 91
 Elettricità dalle onde marine in Indonesia, II, 91

Vent'anni fa Chernobyl, III, 89
 Il programma energetico cinese, III, 89

Per combattere il cambiamento climatico, III, 89
 La sicurezza energetica globale, IV, 87
 Slitta l'avvio della centrale nucleare finlandese, IV, 88
 Efficienza nell'illuminazione, IV, 88
 La politica energetica danese, IV, 88

Piano d'azione per la sicurezza energetica globale, V, 82
 A due astrofisici il Nobel per la Fisica, V, 86

La Conferenza di Nairobi, VI, 86

dall'Unione Europea

Nuova guida per i permessi di emissione, I, 87
 I rischi massimi del cambiamento climatico, I, 87

Nuova legge per le rinnovabili in Gran Bretagna, II, 92
 Integrare l'ambiente nelle politiche agricole, II, 92
 Una nuova luce per la scienza, II, 92

Siglato a Bruxelles l'accordo ITER, III, 90
 Inquinamento atmosferico urbano, III, 90
 Riutilizzo di acque reflue per PMI tessili, III, 90
 Robot europeo su Marte, IV, 89
 Riscaldamento e raffrescamento innovativi, IV, 89
 Iniziative per la Carta europea dei ricercatori, IV, 89

Al bando gli inquinanti chimici persistenti, V, 87
 Produrre bioenergia senza danneggiare l'ambiente, V, 87

Progressi realizzati per gli obiettivi di Lisbona, VI, 88
 L'ENEA e i programmi di ricerca UE, VI, 88



dall'Italia

Programmi di tirocini ENEA-Università, I, 88

Piante come biofabbriche di farmaci, I, 88

Priorità della ricerca industriale, I, 88

Studio ISTAT sull'interscambio commerciale energetico, II, 93

Indirizzi di politica energetica, II, 93

Il ghiaccio rivela il clima antico e futuro, II, 93

In vigore il Codice Ambientale, III, 91

Pirelli ed ENEA per energia e sviluppo sostenibile, III, 91

ENEL: nuovo impianto eolico in Sicilia, III, 91

La programmazione economico-finanziaria 2007-2011, IV, 90

Ingresso ENEA in CESI Ricerca, V, 88

Atlante della radiazione solare, V, 88

Robot comunicativi, V, 88

Le sfide dell'energia: vertice italo-francese, V, 88

Dal CENSIS: vitalità nell'economia ma ancora zavorre, VI, 89

Si realizza Archimede, VI, 89

Risparmio energetico in casa, VI, 90

Atlante degli impianti solari fotovoltaici, VI, 90

dall'ENEA

Convenzione ENEA/Authority per l'Energia, I, 89

Agroindustria e biotecnologie, I, 89

Rapporto ENEA sulle fonti rinnovabili 2005, I, 89

Tecnologie multisettoriali ENEA, I, 90

Graduatorie per l'assegnazione di assegni di ricerca, I, 90

Cooperazione scientifica con Paesi emergenti, II, 94

Sicurezza delle reti tecnologiche, II, 94

Clima e benessere organizzativo, II, 94

Collaborazione scientifica con la Cina, III, 92

Telefonate via internet per la PA, III, 92

Progetti internazionali per PMI, III, 92

Un italiano alla guida del JET, IV, 94

La costruzione del reattore a fusione ITER, IV, 94

Graduatorie di concorsi ENEA, V, 90

Distributore di idrogeno per auto al Brasimone, V, 93

Presidente e Consiglio di Amministrazione ENEA, VI, 91

Fotovoltaico a media concentrazione, VI, 91

Premiata la Web-TV dell'ENEA, VI, 91

Delphos compie 20 anni, VI, 92

Graduatoria di concorsi ENEA, VI, 92

Incontri

Einstein e Energia, I, 92

Potenzialità problemi e prospettive delle Rinnovabili, I, 92

L'uso pacifico dell'energia nucleare, II, 95

Presentata la relazione sullo stato dell'ambiente 2005, II, 95

XVI Settimana della cultura scientifica e tecnologica, II, 95

Ricerca e impresa per rilanciare la competitività, III, 93

Sviluppo socio-economico e tutela dell'ambiente, III, 93

ENEA per l'agroindustria e i biocombustibili, III, 94-95

Un premio per le energie alternative, IV, 95

Informazione e sindrome NIMBY, IV, 95

Emissioni di gas serra, IV, 95

L'ENEA per lo sviluppo del fotovoltaico, V, 94

Giornata di presentazione del Progetto ITER, VI, 93

Tecnologie e politiche energetiche, VI, 93

Innovazione contro desertificazione, VI, 94

Letture

Petrolio e Sviluppo. L'Europa, l'Italia, l'Energia. I, 93

La fisica secondo il PSSC, I, 93

L'efficienza energetica degli edifici, II, 96

Collasso, II, 96

Quale energia?, III, 96

Kyoto e dintorni, III, 96

Gender and Desertification, IV, 96

Innovazione e cultura, IV, 96

L'intelligenza artificiale, V, 95

Condizioni per crescere, V, 95

Giallorino, storia dei pigmenti gialli di natura sintetica, V, 96

The revenge of Gaia, V, 96

State of the World 2006, VI, 95

Caro-energia. Scenari e prospettive, VI, 96

Bimestrale dell'ENEA
Anno 53, luglio-agosto 2007

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

Direttore responsabile

Mauro Basili

Direttore esecutivo

Flavio Giovanni Conti

Comitato tecnico-scientifico

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

Responsabile editoriale

Diana Savelli

Coordinamento editoriale

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

Collaboratori

Antonino Dattola, Giuliano Ghisu, Paola Molinas

Progetto grafico

Bruno Giovannetti, Cristina Lanari

In copertina

L'Adorazione del Bambino di Fra' Bartolomeo
Foto con sovrapposte alcune riprese riflettografiche,
Centro Ricerche ENEA Casaccia, Dipartimento
Tecnologie Fisiche e Nuovi Materiali

Stampa

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

Registrazione

Tribunale Civile di Roma
Numero 6047 del 2 dicembre 1957
del Registro Stampa. Modifiche in corso

Pubblicità

Primaprint srl

Abbonamento annuale

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

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

