



bimestrale dell'ENEA  
anno 60  
novembre - dicembre 2014

# Energia, Ambiente e Innovazione

6/2014

**Dieta, ambiente  
e salute**

**Fisica della  
combustione  
supersonica**

**Nuovi  
materiali per la  
foto-elettrolisi**

**Tutela  
delle superfici  
agricole**



# Energia, Ambiente e Innovazione

RIVISTA BIMESTRALE DELL'ENEA  
ANNO 60 - NOVEMBRE-DICEMBRE 2014

## Registrazione

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

## Direttore Responsabile

Diana Savelli

## Comitato di Direzione

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

## Comitato tecnico-scientifico

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

## Coordinamento editoriale

Giuliano Ghisu

## Collaboratori

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

## Inserito ENEA per EXPO 2015

A cura di Paola Carrabba, Paola Del Nero, Barbara Di Giovanni, Maura Liberatori, Paola Molinas, Rachele Nocera, Laura Maria Padovani

## Traduzione e revisione lingua inglese

Carla Costigliola

## Progetto grafico

Paola Carabotta, Bruno Giovannetti, Cristina Lanari

## Edizione web

Antonella Andreini, Serena Lucibello, Concetta Manto

## Sviluppo App

Giordano Vicoli

## Promozione

Paola Crocianielli

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

Per informazioni e contatti: infoeal@enea.it

## Pre-stampa

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

## Stampa

Varigrafica Alto Lazio  
Via Cassia, km 36,300 (Zona industriale) - 01036 Nepi (VT)  
Finito di stampare nel mese di febbraio 2015



Prodotto realizzato impiegando carta Symbol Freelifce certificata FSC

N. 6/2014

## Indice

### In Primo Piano

- 2** **La centralità del cibo: sostenibilità e competitività del sistema agroalimentare**  
*M. Iannetta*



### Mantenere inalterate le superfici agricole disponibili per la produzione di alimenti

#### IL TEMA

- 8** **I limiti della risorsa terra e delle altre risorse naturali**  
*A. Sonnino*

#### POLICY OVERVIEW

- 20** **La difesa del suolo nell'azione della comunità internazionale**  
*R. Nocera*

#### IL PUNTO DI VISTA

- 24** **Intervista a Mario Guidi, Presidente di Confagricoltura**  
*A cura di M. Liberatori*

#### L'ENEA PER...

- 29** **Ridurre il degrado delle terre: cambiamenti climatici e misure di adattamento**  
*M. Sciortino*
- 32** **La riduzione degli usi competitivi dei suoli agricoli**  
*N. Colonna, V. Pignatelli*
- 34** **La pianificazione energetica territoriale**  
*N. Colonna, M. Marani, R. Roberto*
- 36** **Risanare i suoli mantenendone intatte le funzioni: obiettivo strategico per una bonifica sostenibile delle aree contaminate**  
*A.R. Sprocati, C. Cremisini*
- 40** **Geomatica e Remote Sensing nella valutazione del potenziale fotovoltaico dei tetti per ridurre l'uso dei terreni agricoli**  
*F. Borfecchia, E. Caiaffa, M. Pollino, L. De Cecco, L. La Porta, S. Martini*

### Sa

### Spazio aperto

#### APPROCCI

- 44** **Il costo dell'energia elettrica per le imprese italiane: un'analisi comparata a livello europeo**  
*M. Gaeta, M. Rao*

#### BIBLIOGRAFIA

- 50** **Per una bibliografia dell'energia in Italia**  
*D. Chello*

#### CURIOSITÀ SCIENTIFICHE

- 60** **La 'grande bellezza' dei numeri figurativi**  
*P. Di Lazzaro, D. Murra*

### Pp

### Patent portfolio

- 66** **Un olio... veramente energetico**  
*A truly energetic kind of... oil!*
- 68** **Il colore dell'acqua**  
*The colour of water*
- 70** **Profondo... Nord**  
*Deep... North*

### Rd

### Research & development

- 73** **Diet impacts on health and the environment: Exploring possible tools for improving sustainability**  
*A. De Marco, M. Velardi*
- 85** **Large Eddy Simulation of turbulent hydrogen-fuelled supersonic combustion in an air cross-flow**  
*D. Cecere, E. Giacomazzi, F.R. Picchia, N.M. Arcidiacono*
- 97** **A combined anode nickel-titanium dioxide nanotube for photo-electrolysis**  
*A. Pozio, A. Masci, M. Pasquali*

## La centralità del cibo: sostenibilità e competitività del sistema agroalimentare

Le sfide poste dalla produzione alimentare sono enormi e saranno sempre più pressanti al fine di soddisfare il crescente bisogno di cibo in tutto il mondo. Ci saranno due miliardi in più di bocche da sfamare entro la metà del secolo e nel mondo sta aumentando la prosperità, soprattutto in Cina e India, con un aumento della domanda di carne, uova e latticini. Aumenta quindi la pressione a coltivare più mais e soia per nutrire più bovini, maiali e polli. Se questa tendenza continuerà, il doppio trend di crescita della popolazione e delle diete più ricche richiederà circa il doppio della quantità di colture da crescere entro il 2050.

Purtroppo il dibattito su come affrontare la sfida alimentare globale si è polarizzato, opponendo l'agricoltura convenzionale ed il commercio globale ai sistemi alimentari locali e le aziende agricole biologiche. Piuttosto che trovare un terreno comune di confronto ci si divide in fazioni contrapposte. Coloro che pro-

pongono per l'agricoltura convenzionale parlano di come la meccanizzazione moderna, l'irrigazione, i fertilizzanti, e il miglioramento genetico possono aumentare le rese per contribuire a soddisfare la domanda. Ed hanno ragione! Nel frattempo, i sostenitori dell'agricoltura locale e biologica ribattono che i piccoli agricoltori di tutto il mondo potrebbero aumentare le rese e aiutare se stessi ad uscire dalla povertà, adottando tecniche che migliorano la fertilità, senza fertilizzanti di sintesi e pesticidi. Hanno ragione anche loro! Ma

non deve essere un aut-aut, entrambi gli approcci offrono soluzioni assolutamente indispensabili. Sarebbe saggio esplorare tutte le buone idee, provenienti sia dalle aziende biologiche e locali sia da quelle high-tech e convenzionali, fondendo il meglio di entrambe.

Come può il mondo raddoppiare la disponibilità di cibo e contemporaneamente ridurre i danni ambientali causati dall'agricoltura, senza integrare il meglio delle conoscenze che abbiamo sviluppato nel corso degli ultimi decenni? È necessario individuare metodi di produzione alimentare, sistemi e nuove tecnologie in grado di aumentare l'efficienza dei sistemi primari, garantendo quantità di cibo, qualità e sicurezza e riducendo l'inquinamento ambientale e gli input chimici ed energetici. Si sta radicalizzando a livello globale il problema della scarsità alimentare, con una forbice che vede da una parte denutrizione e dall'altra sprechi alimentari e utilizzi non alimentari delle produzioni agricole. Occorre quindi rimettere al centro delle politiche internazionali il tema del cibo e favorire un processo di sviluppo e di intensificazione delle politiche di ricerca e innovazione, per affrontare una sfida epocale come quella che abbiamo di fronte. Il paradigma da utilizzare è quello della Green Economy in una prospettiva multidisciplinare, un approccio integrato che consideri non solo la produzione primaria degli alimenti, legata all'agricoltura, alla sua trasformazione industriale e distribuzione, ma anche la questione energetica, l'ambiente e il territorio con le sue valenze culturali e sociali, l'alimentazione,

Il doppio trend di crescita della popolazione e delle diete più ricche richiederà circa il doppio della quantità di colture da crescere entro il 2050



nutrizione e salute, le abitudini alimentari dei consumatori.

L'ENEA, che possiede strumenti e competenze tecnico/scientifiche multidisciplinari, vuole contribuire, anche attraverso la sua rivista "Energia, Ambiente e Innovazione", a trasferire un nuovo approccio ai temi del "food" che tenga conto di vari aspetti, da quelli più propriamente settoriali – relativi alle biotecnologie vegetali, all'innovazione di processo e di prodotto, alla tracciabilità, qualità e sicurezza degli alimenti, alla sostenibilità della filiera agroalimentare e alle diete alimentari sostenibili, all'uso delle biomasse e degli scarti agricoli – a quelli più trasversali, che si integrano fortemente con i primi, relativi all'impatto dei cambiamenti climatici sull'agricoltura e sulla catena alimentare marina, all'uso delle rinnovabili, all'efficienza energetica nei processi di produzione, alla valutazione dell'impatto ambientale negli stessi (LCA), ai nuovi materiali per il packaging, alla sensoristica, alle piattaforme ICT ecc..

Si tratta di un nuovo approccio alla produzione sostenibile del cibo, che ha interesse e impatto sia verso il grande pubblico, sia verso il mondo produttivo, industriale e scientifico. L'idea nuova si fonda sulla possibilità di trattare il tema come sistema integrato basato su un numero finito di sottosistemi (agricoltura, ambiente, sicurezza alimentare, acqua, salute, energia, infrastrutture, economia ecc.), da gestire in maniera coordinata per affrontare le sfide future che abbiamo davanti, seguendo *5 fasi fondamentali di intervento*:

1. mantenere inalterate le superfici agricole oggi disponibili per la produzione di alimenti;
2. aumentare la produzione e ridurre le perdite;
3. usare in modo più efficiente le limitate risorse disponibili, riducendo l'inquinamento ambientale e gli input chimici ed energetici;

4. adottare modelli di consumo sostenibili e ridurre gli sprechi;
5. garantire rintracciabilità e *food safety*.

#### Fase uno: mantenere inalterate le superfici agricole oggi disponibili per la produzione di alimenti

Per la maggior parte della nostra storia, ogni volta che abbiamo avuto bisogno di produrre più cibo, abbiamo tagliato le foreste o arato le praterie per avere più superficie agricola utilizzabile. L'impronta agricola ha causato la perdita di interi ecosistemi in tutto il mondo, comprese le praterie del Nord America e la foresta atlantica del Brasile, mentre le foreste tropicali continuano ad essere distrutte a tassi allarmanti. Ma non possiamo più permetterci di aumentare la produzione di cibo attraverso l'espansione delle superfici agricole. La deforestazione è una delle pratiche più distruttive per l'ambiente, di cui – peraltro – raramente beneficiano gli 850 milioni di persone nel mondo che soffrono ancora la fame. La maggior parte della terra utilizzata per l'agricoltura nei tropici non contribuisce molto alla sicurezza alimentare del mondo, ma viene invece utilizzata per l'allevamento di bestiame, la coltivazione di semi di soia per il bestiame, legname e olio di palma. Evitare ulteriore deforestazione deve essere una priorità assoluta, solo in questo modo riusciremo a salvaguardare il polmone indispensabile di biodiversità del nostro Pianeta.

Al contempo dobbiamo evitare che la superficie agricola venga erosa da altri utilizzi; l'uso competitivo della risorsa suolo è sempre, infatti, a discapito della produzione di cibo, in quanto ne riduce disponibilità importanti. Parliamo dei processi di urbanizzazione, di creazione di infrastrutture, di produzione di biocombustibili con colture dedicate.

Bisogna, inoltre, preservare la qualità dei



terreni disponibili, riducendo i processi di degrado, inquinamento e desertificazione. Infine, un importante contributo alla maggiore produzione di cibo può venire dal mare e dai corsi d'acqua dolce; anche in questo caso, bisogna preservarne il più possibile lo stato di salute.

#### Fase due: aumentare la produzione e ridurre le perdite

A partire dagli anni '60, la rivoluzione verde ha aumentato le rese in Asia e in America Latina con una migliore varietà di colture, più fertilizzanti, irrigazione e macchine agricole, ma con maggiori costi ambientali. Il mondo può ora rivolgere la sua attenzione all'aumento dei rendimenti sui terreni agricoli, in particolare nelle aree meno produttive in Africa, America Latina ed Europa orientale, dove ci sono "buchi" di

rendimento tra i livelli di produzione attuali e quelli possibili attraverso il miglioramento delle pratiche agricole. L'utilizzo delle biotecnologie per ottenere piante più efficienti e produttive potrebbe consentire un aumento considerevole delle rese in questi luoghi, così come approcci mutuati dall'agricoltura biologica e conservativa. Tutta la nuova produzione

alimentare nei prossimi 35 anni dovrà provenire dagli attuali terreni agricoli. Il miglioramento dell'apporto di nutrienti e di acqua, dove i rendimenti sono più bassi, si potrebbe tradurre in un raddoppio della produzione alimentare globale.

È, inoltre, necessario contenere al massimo le perdite di quanto prodotto a scopi alimentari. Nei paesi poveri il cibo è spesso perduto tra la fase di produzione agricola e il mercato, a causa di condizioni inadeguate di stoccaggio e trasporto.

Occorre intervenire migliorando le condizioni di produzione e raccolta, ma anche trattando con sistemi fisici le derrate alimentari da conservare.

#### Fase tre: usare in modo più efficiente le limitate risorse disponibili, riducendo l'inquinamento ambientale e gli input chimici ed energetici

Abbiamo modi per ottenere alti rendimenti riducendo enormemente gli impatti ambientali. Ridurre l'uso di acqua e fertilizzanti, migliorare la difesa fitosanitaria e avere piante meno esigenti sono elementi chiave per nutrire il mondo nei prossimi decenni. L'agricoltura convenzionale ha iniziato a fare passi avanti enormi, trovando metodi innovativi per indirizzare meglio ed orientare l'applicazione di fertilizzanti e pesticidi, utilizzando trattrici computerizzate con sensori avanzati e GPS. Molti agricoltori applicano dosi personalizzate di fertilizzante, adeguate alle condizioni dei loro suoli, per minimizzare l'impatto di prodotti chimici nei corsi d'acqua vicini.

L'agricoltura biologica può notevolmente ridurre l'uso di acqua e di sostanze chimiche, incorporando colture di copertura, pacciamatura, e compost in grado di migliorare la qualità del suolo per la conservazione delle sostanze nutritive, usando l'acqua in modo efficiente attraverso la sostituzione di vecchi sistemi di irrigazione con metodi di subirrigazione o irrigazione a goccia, con l'obiettivo di produrre più "crop per drop"!

#### Fase quattro: adottare modelli di consumo sostenibili e ridurre gli sprechi

Sarebbe molto semplice nutrire nove miliardi di persone entro il 2050 se tutti

Individuare metodi di produzione alimentare e nuove tecnologie in grado di aumentare l'efficienza dei sistemi primari, garantendo quantità di cibo, qualità e sicurezza e riducendo l'inquinamento ambientale e gli input chimici ed energetici



**ENEA** per **EXPO**  
2015

i prodotti agricoli venissero utilizzati direttamente come cibo per le popolazioni. Purtroppo oggi non è così. Solo il 55 per cento delle calorie del grano prodotto nel mondo nutre direttamente la popolazione; il resto viene somministrato agli animali (circa il 36 per cento) o trasformato in biocarburanti e prodotti industriali (circa il 9 per cento). Per ogni 100 calorie di grano utilizzate per nutrire gli animali, si ottengono solo 40 nuove calorie di latte, 22 calorie di uova, 12 di pollo, 10 di maiale, 3 di manzo. Trovare modi più efficienti per produrre proteine animali (il contributo dell'acquacoltura diventa sempre più rilevante ed interessante da questo punto di vista) e adottare un modello di dieta alimentare più rispondente al nostro benessere fisico e alla nostra salute, senza escludere alcun tipo di cibo ma assumendone nelle giuste e salutari dosi, potrebbe liberare notevoli quantità di alimenti in tutto il mondo. Nei paesi in fase di sviluppo è improbabile che diminuisca il consumo di carne nel prossimo futuro, dato il loro aumentato benessere; occorre quindi concentrarsi su paesi che hanno già diete ricche di carne.

Un altro grosso problema da risolvere è la riduzione dei rifiuti alimentari. Nei paesi ricchi la maggior parte di tali rifiuti avviene in casa, nei ristoranti o supermercati. I consumatori nel mondo sviluppato potrebbero ridurre gli sprechi adottando misure semplici, come l'offerta commerciale di porzioni più piccole, o incoraggiando caffetterie, ristoranti e supermercati a sviluppare misure per la riduzione dei rifiuti. Sviluppare sistemi di packa-

ging intelligente con nanosensori per la registrazione delle condizioni di conservazione e per la diagnostica precoce, in grado di valutare la reale condizione di conservazione del prodotto, potrebbe superare il problema della data di scadenza, che tanti sprechi genera soprattutto nella grande distribuzione.

### Fase cinque: garantire rintracciabilità e *food safety*

L'autenticità delle produzioni rappresenta oggi una delle sfide del settore agroalimentare per prevenire molte problematiche di sicurezza, contrastare le frodi e scoraggiare i fenomeni di concorrenza sleale. L'autenticità è oggi spesso dimostrata attraverso la rintracciabilità di materie prime e prodotti. In particolare per quanto riguarda la dimostrazione dell'origine geografica, lo studio delle relazioni tra territorio, genotipo e caratteristiche peculiari di prodotto consente di approfondire le conoscenze ed effettuare valutazioni integrate e interdisciplinari dell'ecosistema agricolo, progredendo in maniera significativa negli aspetti di sicurezza e qualità delle produzioni, fino alla possibilità di definire una vocazionalità dell'ambiente di produzione.

La sicurezza è l'elemento imprescindibile per la libera circolazione dei prodotti ed è alla base di qualsiasi piano di sviluppo strategico e di innovazione. La riduzione della contaminazione dei prodotti alimentari, oltre ad essere necessaria per rispondere ai sempre più stringenti requisiti di legge, è anche un elemento fondamentale di tutela dell'immagine e di valorizzazione dei prodotti. Oggi è matura la consapevolezza che la riduzione della contaminazione

**Rimettere al centro delle politiche internazionali il tema del cibo e favorire un processo di sviluppo e di intensificazione delle politiche di ricerca e innovazione, per affrontare una sfida epocale**

sarà sempre più un elemento strategico di competitività e che solo investendo in sicurezza si potrà rafforzare la fiducia dei consumatori e promuovere quel circolo virtuoso di domanda e offerta che tutela l'autenticità e la qualità delle produzioni.

### Conclusioni

Le soluzioni indicate richiedono un grande cambiamento nel nostro modo di pensare:

1. per la maggior parte della nostra storia siamo stati accecati dall'imperativo «produrre di più, di più», utilizzando più terra e più risorse;
2. dobbiamo trovare un equilibrio tra la produzione di più cibo e la sostenibilità del pianeta per le generazioni future;
3. questo è un momento cruciale in cui ci troviamo ad affrontare sfide senza precedenti, per le quali la centralità del cibo e il forte impegno in ricerca ed innovazione devono essere prioritari nelle agende politiche internazionali.

La buona notizia è che già conosciamo cosa dobbiamo fare, abbiamo solo bisogno di capire come farlo:

- affrontare le sfide globali sul cibo richiede da parte di tutti noi una particolare attenzione a ciò che mettiamo nei nostri piatti;
- dobbiamo fare collegamenti tra il cibo che mangiamo e i nostri produttori, tra il nostro cibo ed il territorio, i bacini idrografici, il clima ecc. che sostengono le produzioni;
- dobbiamo orientare con le nostre scelte di acquisto i modelli di produzione, aiutando a decidere il futuro.

Coniugando l'esperienza del passato con gli strumenti oggi disponibili è possibile innovare l'attuale sistema agroalimentare e renderlo capace di fornire cibo per tutti, sostenibile per l'ambiente e in grado di soddisfare le esigenze nutrizionali e di salute. È necessario mettere al centro dell'agenda

politica mondiale il tema dell'Agricoltura e del Cibo e regole adeguate per una più equa distribuzione delle risorse sul pianeta. Se i Governi riusciranno ad accordarsi su un sistema commerciale stabile ed equilibrato, che veda le *commodity* agricole non come un prodotto della finanza, ma come risorsa importante per compensare tensioni sociali nelle diverse parti del mondo, riducendo sia i surplus alimentari, che generano conseguenti patologie da sovrappeso e sprechi, che gravi deficit alimentari che determinano malnutrizione, verrà sanato un problema strutturale legato alle ingiustizie sociali del Pianeta. Se la scienza e la tecnologia eserciteranno la loro funzione, la quantità e la qualità delle produzioni aumenterà, nel rispetto dell'ambiente.

Il consumo consapevole del cibo potrà orientare la produzione verso sistemi sempre più sostenibili, in grado di garantire alle prossime generazioni un futuro migliore. Questo tema va affrontato, quindi, in una prospettiva multidisciplinare, con un approccio integrato che consideri non solo la produzione primaria degli alimenti, legata all'agricoltura, e la sua trasformazione industriale, ma anche gli aspetti multifunzionali dell'agricoltura stessa, i suoi servizi ecosistemici, la questione energetica, l'ambiente, lo sviluppo economico ed il commercio internazionale, l'alimentazione, la nutrizione e le abitudini alimentari dei consumatori, l'informazione e la formazione.

L'impegno dell'ENEA è quello di aggiungere, anche attraverso la sua rivista, un contributo di valore nell'affrontare le tematiche agroalimentari nella loro complessità, considerando tutti i fattori coinvolti in maniera interconnessa e complementare nei processi oggetto di analisi; questa costituisce sempre di più l'unica modalità in grado di affrontare le grandi sfide di oggi, che vedono nell'agroalimentare uno dei pilastri mondiali dello sviluppo economico e sociale.



## MANTENERE INALTERATE LE SUPERFICI AGRICOLE DISPONIBILI PER LA PRODUZIONE DI ALIMENTI

*L'uso delle risorse che sono la base dell'agricoltura (terra, acqua, fertilità del suolo, biodiversità) subisce una forte erosione e la competizione crescente da parte di altre utilizzazioni non agricole. Uno dei passaggi fondamentali per soddisfare l'aumento della domanda globale di alimenti consiste nel preservare tutte le superfici agricole oggi disponibili evitando il loro utilizzo per altri scopi e preservando la qualità dei terreni, riducendo i processi di degrado, inquinamento e desertificazione.*

### *il tema*

*Limiti della risorsa terra e delle altre risorse naturali*

### *policy overview*

*La difesa del suolo nell'azione della comunità internazionale*

### *il punto di vista*

*Intervista al Presidente di Confagricoltura*

### *L'ENEA per...*

*Ridurre il degrado delle terre*

*Ridurre gli usi competitivi dei suoli agricoli*

*La pianificazione energetica territoriale*

*Risanare i suoli contaminati mantenendone intatte le funzioni*

*Più fotovoltaico sui tetti, meno sui terreni agricoli*



## I limiti della risorsa terra e delle altre risorse naturali

DOI 10.12910/EAI2014-102

A. Sonnino

### Introduzione

Negli ultimi 50 anni il sistema agricolo globale è riuscito ad aumentare tra le 2,5 e le tre volte la produzione di alimenti riuscendo così a soddisfare la domanda alimentare della popolazione mondiale [1], nonostante questa sia raddoppiata tra il 1960 ed il 2003 ed oggi raggiunga i 7 miliardi di persone [2] (Figura 1<sup>1</sup>). Come risultato, la produzione di alimenti è passata dal 1961 al 2009 da 2189 a 2831 kcal pro-capite, con un incremento del 29% (fonte: FAOSTAT). La disponibilità teorica media eccede quindi il fabbisogno medio di assunzione di calorie.

Purtroppo gli alimenti prodotti sono distribuiti in modo ineguale: nonostante la disponibilità sia più che sufficiente a soddisfare le esigenze di tutta la popolazione mondiale, quasi 805 milioni di persone - vale a dire più di una su nove - hanno sofferto di denutrizione cronica nel biennio 2012-2014 [3]. La stragrande maggioranza delle persone che soffrono la fame - circa il 98% - vive nei Paesi in via di sviluppo. Dal 1990-92 il numero totale delle persone che soffrono la fame è diminuito di 209 milioni, passando dal 18,6% all'11,3% della popolazione mondiale e dal 23,2% al 13,5% della popolazione dei Paesi in via di sviluppo [3]. L'evidente progresso ha quindi attenuato, ma non eradicato, il fenomeno dell'insicurezza alimentare a livello globale.

Nel contempo, altre due fonti di preoccupazione si uniscono a quella relativa alla denutrizione, intesa come insufficiente assunzione di calorie [4]: (i) la malnutrizione, sotto forma di deficienze nutrizionali, come per esempio deficienze di iodio, di vitamina A o di ferro, che interessano circa 2 miliardi di persone; e (ii) la sovralimentazione, che interessa circa 1,6 miliardi di persone considerate sovrappeso, di cui 400 milioni sono obese [5]. I problemi nutrizionali sono quindi molteplici e spesso interdipendenti, si sovrappongono in vaste aree geografiche, e creano una sfida che deve essere affrontata in modo integrato.

Questo articolo si propone di analizzare criticamente i cambiamenti della domanda di alimenti, gli aumenti di produttività ottenuti nell'ultimo cinquantennio e i corrispondenti effetti sulle risorse naturali per poi discutere le possibili misure che possono permettere di facilitare la transizione verso metodi di produzione primaria più sostenibili nel lungo periodo.

### Evoluzione della domanda di alimenti

Secondo le proiezioni dell'ONU, la popolazione mondiale crescerà nei prossimi anni fino a superare i 9,550 miliardi nel 2050 [2], e quasi tutta la crescita demo-

grafica avverrà nei Paesi in via di sviluppo. Contemporaneamente continuerà il processo di urbanizzazione, di modo che nel 2050 circa i due terzi della popolazione mondiale vivrà nelle città, lontano dalle zone di produzione degli alimenti, contro il 50% di oggi [6].

Tradizionalmente, le diete a base di carne sono associate a bassa densità di popolazione e ad ampia disponibilità di terra, mentre le diete vegetariane erano adottate nelle aree più densamente popolate il cui ambiente non

permette la produzione di calorie di origine animale senza ridurre le calorie totali disponibili per l'alimentazione umana [7]. Anche le prescrizioni delle maggiori religioni in materia di dieta rispondono largamente all'esigenza di dirigere i consumi verso alimenti che hanno un migliore bilancio economico o ambientale nei territori in cui sono praticate. Dall'inizio degli anni '70 alla metà degli anni '90 questo tipo di distribuzione delle diete è stato sconvolto: il consumo di carne nei Paesi in via di sviluppo è aumentato di circa 70 milioni di tonnellate, quasi tre volte l'aumento verificatosi nei Paesi industrializzati, ed il consumo di latte è cresciuto di 105 milioni di tonnellate, più del doppio dell'incremento avvenuto nei Paesi più sviluppati [8]. Questa rivoluzione dei consumi alimentari è stata determinata dalle migliorate condizioni di vita nei Paesi emergenti e dal processo di urbanizzazione crescente con le conseguenti profonde trasformazioni socio-culturali che esso provoca.

Gli stessi fattori determineranno nei prossimi anni cambi ancor più rilevanti delle diete nei Paesi in via di sviluppo, con diminuzione della quota di cereali e alimenti di base e un aumento di ortaggi, frutta, carne, pesce e prodotti lattiero-caseari, tutti alimenti più nutritivi, ma la cui produzione è più dispendiosa in termini di risorse naturali. Per esempio, è previsto che il consumo di carne raddoppi ulteriormente da adesso al 2030 [9]. Queste tendenze sono solo molto parzialmente bilanciate dall'adozione, soprattutto nei Paesi industrializzati, di regimi alimentari consapevoli, sia per fini salutistici, che per coscienza ambientalista (come per esempio la diffusione della "dieta mediterranea" o di diete vegetariane).

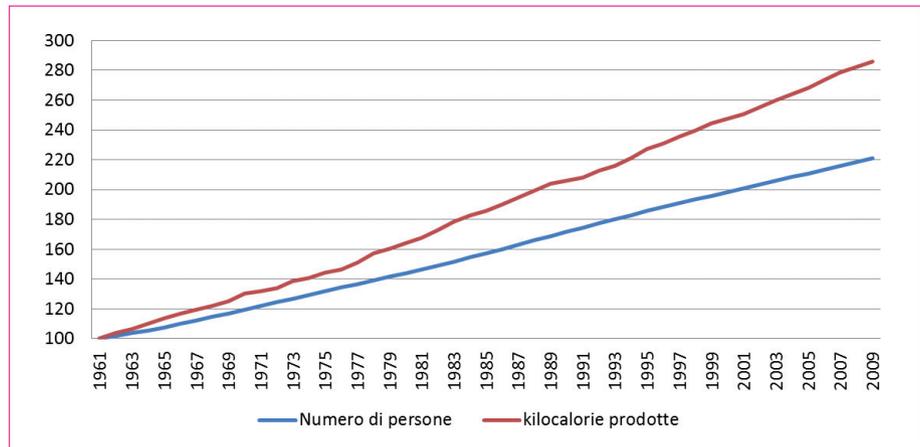


Figura 1  
Indici della produzione mondiale di alimenti (kilocalorie) e della popolazione mondiale (numero) (1961=100)

Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

Una popolazione più numerosa, più urbanizzata e più esigente esprimerà una domanda di alimenti maggiore e diversamente composta rispetto a quella attuale. Le previsioni della FAO stimano nel 60% la crescita globale della domanda di alimenti dai livelli attuali a quelli del 2050, con punte del 100% nei Paesi in via di sviluppo [10]. L'incremento della domanda globale di alimenti sarà funzione per circa due terzi dell'aumento demografico e per il restante terzo dell'accresciuta ricchezza [11].

L'aumento della domanda globale di alimenti dovrà comunque essere soddisfatto in condizioni di erosione delle risorse naturali che sono alla base dell'agricoltura: terra, acqua, fertilità del suolo, biodiversità sono limitati ed il loro uso non può espandersi all'infinito, ma, anzi, subisce la competizione crescente da parte di altre utilizzazioni non agricole (civili, industriali, ricreative) o da parte di produzioni agricole non alimentari, quali i biocombustibili. Si rende quindi necessario promuovere l'aumento della produttività delle risorse naturali.

### Produttività agricola nell'ultimo cinquantennio

L'aumento di produzione del periodo 1961-2012 è stato conseguito soprattutto mediante aumenti della produttività unitaria delle coltivazioni. La produzione unitaria dei cereali e delle oleaginose, per esempio, è quasi triplicata in questo periodo (+269 e +279% rispettivamente), mentre quella di leguminose e piante da radici e tuberi è aumentata rispettivamente di circa 1,4 e 1,5 volte (Figura 2).

La produzione di alimenti di origine animale è inol-

tre aumentata nel periodo considerato in misura maggiore rispetto alla produzione agricola totale (Figura 3): la produzione di carne bovina e bufalina, di carne ovina e caprina e di latte è più che raddoppiata, mentre la produzione di uova è quintuplicata e quella di carne avicola si è accresciuta di quasi 12 volte. Questo spettacolare aumento è stato definito “livestock revolution” da Delgado et al. [12], che ne hanno segnalato anche i possibili impatti economici, sociali e ambientali.

Ancora più spettacolare la crescita dell’acquacoltura, che ha visto moltiplicare la produzione di prodotti ittici (pesce, molluschi e crostacei) di più di 46 volte (Figura 4). Il consumo di prodotti ittici, pescati e allevati, è quindi salito da 10 chili/anno pro-capite negli anni ’60 a 19,2 chili/anno pro-capite nel 2012 [13]. L’acquacoltura contribuisce per il 50% alla produzione totale di prodotti ittici. La quota di pesce allevato è destinata ad assumere importanza crescente, considerando che la produzione di pescato ha raggiunto un

teito difficilmente superabile senza compromettere ulteriormente le riserve ittiche naturali.

La produttività degli allevamenti animali è aumentata velocemente: il peso di uova prodotte per ovaiole è salito del 133% tra il 1961 ed il 2012, mentre la quantità di latte prodotto per animale è aumentata del 113% nello stesso periodo (Figura 5). È inoltre aumentata la densità degli allevamenti (Figura 6): il numero di polli e galline per ettaro è quasi quintuplicato dal 1961 al 2011 (+460%), il numero di suini è più che raddoppiato (+222%), mentre si sono verificati aumenti più contenuti per ovini e caprini

(+130%). Il numero di bovini e bufali per ettaro coltivato è rimasto sostanzialmente stabile.

Negli anni ’60, ’70 e ’80, gli aumenti di produttività descritti sono stati ottenuti in gran parte per mezzo dell’intensificazione della coltivazione, accrescendo cioè l’uso dei fattori di produzione, quali l’acqua, i fertilizzanti, l’energia, i presidi fitosanitari e veterinari, mentre nelle decadi successive l’aumento della produzione agricola va ascritto principalmente alla produttività totale dei fattori, e quindi agli effetti del progresso tecnico ed organizzativo delle imprese agricole (Figura 7) [14].

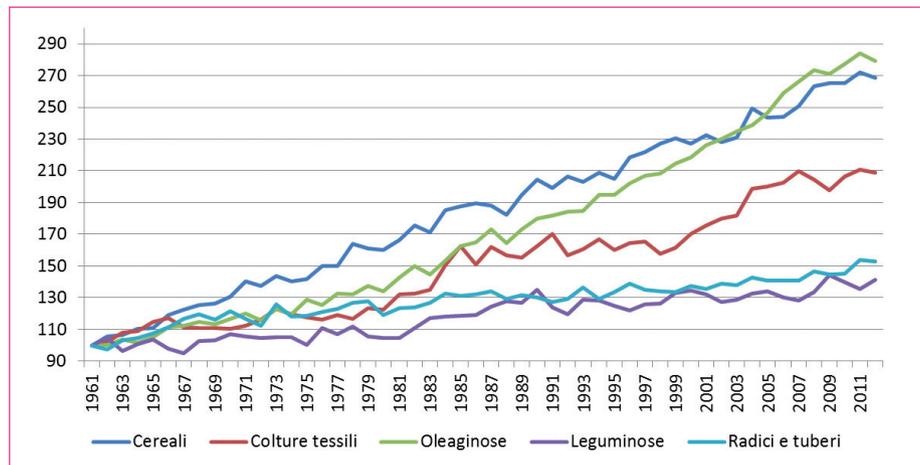


Figura 2  
Indice della produzione per ettaro delle maggiori colture (1961=100)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

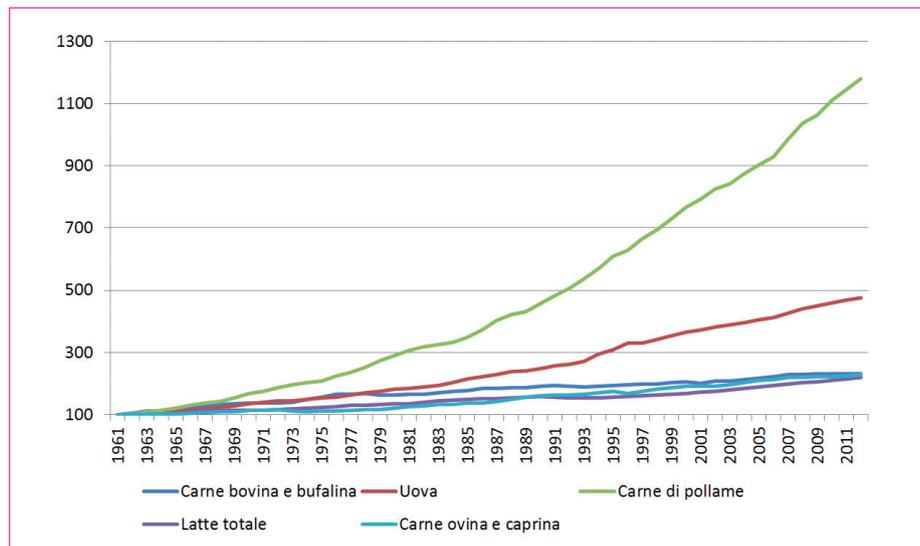


Figura 3  
Indice della produzione totale globale degli allevamenti animali (1961=100)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

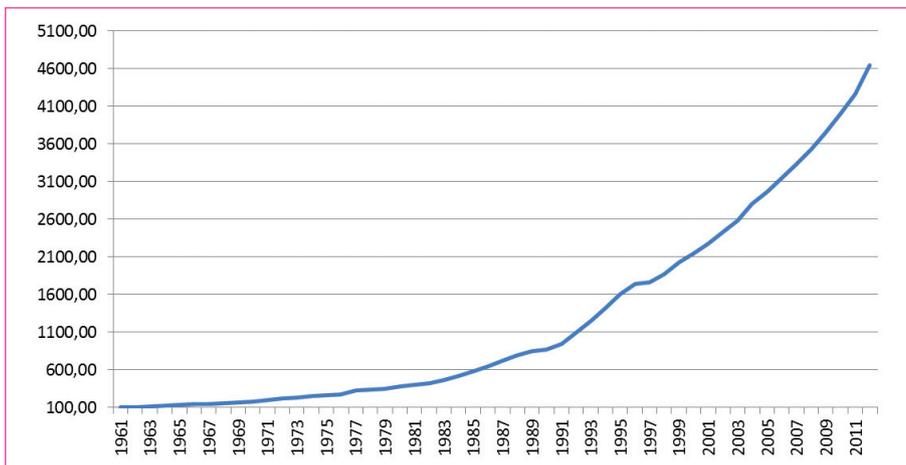


Figura 4  
Indice della produzione degli allevamenti ittici (1961=100)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

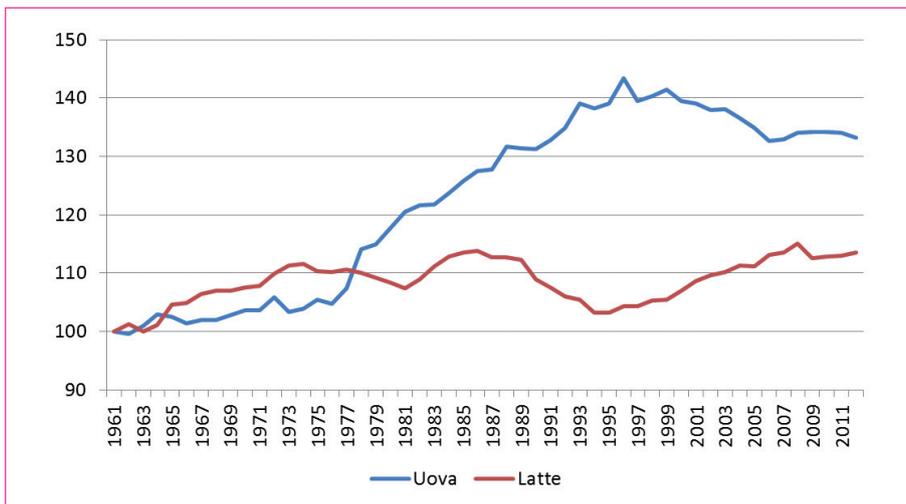


Figura 5  
Indice della produzione unitaria di uova e di latte (1961=100)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

## Impatto sulle risorse naturali

### Superficie agricola

L'area agricola mondiale si è espansa tra il 1961 e il 2011 da 4,46 a 4,91 miliardi di ettari (Figura 8), con un incremento medio annuo dello 0,19% e totale di circa il 10%, equivalente a poco meno di mezzo miliardo di ettari. L'aumento annuo di superficie agricola è stato più rapido tra il 1961 e il 1992 (0,27% in media) e meno veloce dal 1993 al 2011 (0,03% in media). In termini percentuali rispetto all'intera superficie emersa, l'area agricola è passata da poco più del 34% all'inizio del periodo considerato a quasi il 38% nel 2011. Se si escludono i deserti, i ghiacci perenni e gli specchi

d'acqua, la superficie dedicata alla produzione di alimenti raggiunge il 50% delle terre emerse [11].

L'aumento dell'area agricola è attribuibile all'incremento della superficie destinata a seminativi (+10%), e a legnose agrarie (+74%), e di prati permanenti e pascoli (+9%). Seminativi e legnose agrarie occupano circa un terzo (31%) della superficie dedicata alla produzione agricola, mentre i restanti due terzi sono dedicati a prati permanenti e pascoli. Circa il 33% delle aree destinate a seminativi sono dedicate alla produzione di mangimi per animali in produzione zootecnica [15]. Ne discende che circa i 4/5 dell'intera superficie agricola sono dedicati alla alimentazione animale [10] e solo il restante 20% è destinato alla produzione diretta di derrate per alimentazione umana e di fibre vegetali.

L'incremento dell'area agricola è avvenuto soprattutto a spese di foreste ed altri ecosistemi naturali (Figura 9). L'area forestata a livello globale è difatti passata da 4,17 miliardi di ettari del 1990 a 4,03 miliardi di ettari

del 2011, con una riduzione di circa il 4%, pari a circa 6,4 milioni di ettari per anno. Oltre alla distruzione di ecosistemi naturali e le conseguenze dirette di perdita di biodiversità, la deforestazione porta anche effetti indiretti sulla produttività agricola dovuti alla diminuzione delle precipitazioni e al riscaldamento globale. Si calcola infatti che il cambio di destinazione dei suoli, oltre ad avere consumato una notevole quantità di ecosistemi naturali, abbia contribuito per l'11% alla emissione di gas serra, responsabili dei cambiamenti climatici in corso.

La concomitante crescita demografica, che ha visto la popolazione mondiale più che raddoppiata nel perio-

do considerato, ha drasticamente ridotto la superficie coltivata pro-capite, che è diminuita da 0,45 a 0,22 ettari [16].

Si stima che, se non interverranno significativi cambiamenti delle politiche nazionali, la frontiera agricola continuerà ad espandersi da qui al 2050, anche se ad un ritmo rallentato rispetto al passato [17]. L'ampliamento totale della superficie a seminativi interesserà almeno altri 100 milioni di ettari, ma non potrà comunque avverarsi in maniera omogenea in tutte le aree: mentre nell'Africa sub-sahariana ed in America Latina vi è disponibilità di terra fertile non ancora coltivata, in Asia, nel Nord Africa e in Medio Oriente non vi sono possibilità fisiche di espansione (Figura 10). Nei Paesi industrializzati si stima che la superficie a seminativi subirà una costante diminuzione. Va inoltre ricordato che l'espansione demografica e la crescita economica esercitano una competizione sempre più serrata per l'uso del suolo, sottraendo spesso all'utilizzazione agricola i terreni più vocati, e in maniera irreversibile. La produzione di biocombustibili esercita un'ulteriore competizione sull'uso della terra per la produzione di cibo.

### Degrado del suolo

Il degrado del suolo è definito come il cambiamento dello stato di salute del suolo che compromette la sua capacità di fornire beni e servizi ecosistemici [18]. Il 33% delle terre coltivate è stato classificato come contraddistinto da suoli degradati o molto degradati (Figura 11), spesso a causa di pratiche produttive non sostenibili, quali il sovrappascolamento, la monocoltura, le

eccessive lavorazioni, la non corretta gestione dell'irrigazione e dei nutrienti e la mancata restituzione di sostanza organica [16]. L'estesa introduzione di pratiche agricole che limitano le interferenze sul suolo, quali la lavorazione minima e la semina diretta, ha portato grandi benefici in vaste aree agricole [19], riducendo l'erosione e migliorando la fertilità, ma in vaste aree dei Paesi in via di sviluppo, soprattutto nell'Africa sub-sahariana, il degrado dei suoli rappresenta una forte preoccupazione. Alcune stime fanno ammontare a 40 miliardi di dollari per anno i costi del degrado del

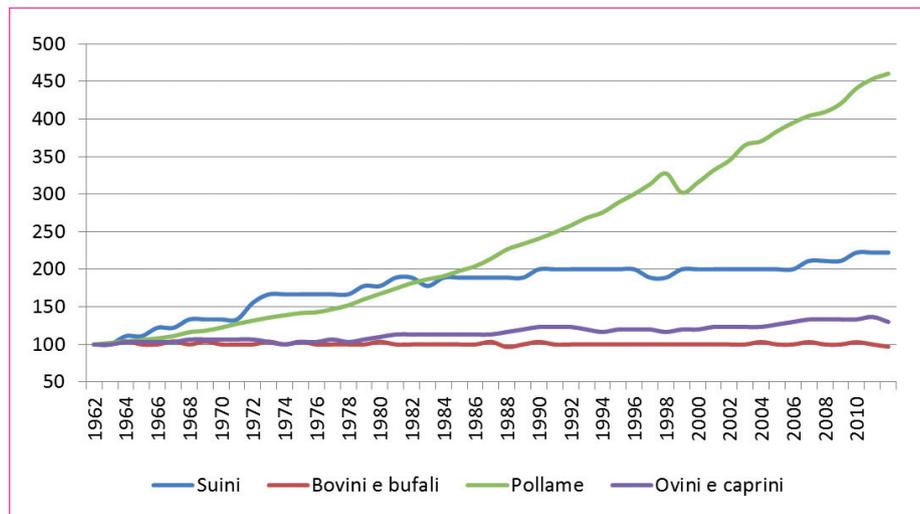


Figura 6  
Indici della densità di bestiame (numero) per ettaro di area agricola (1961=100)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

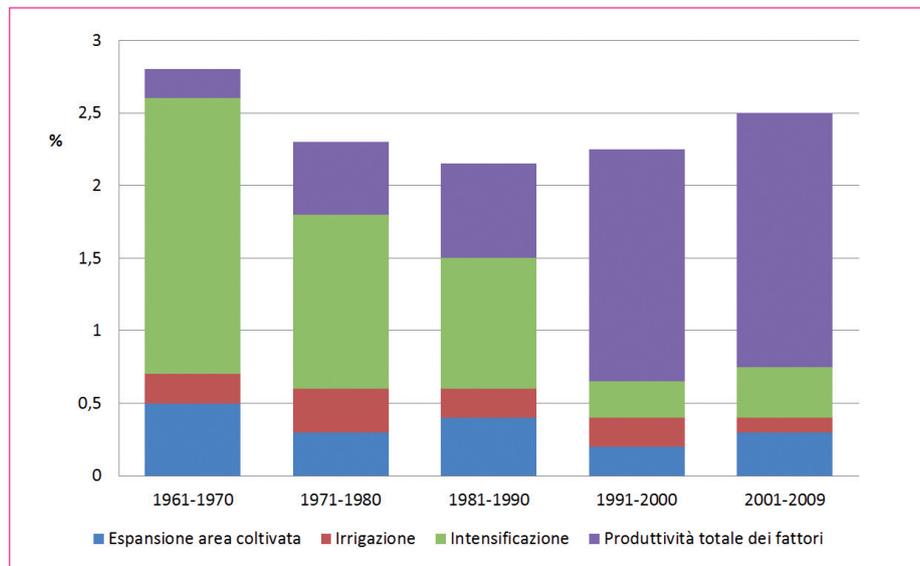


Figura 7  
Tasso medio di crescita della produzione agricola per decade (1961-2009) e sua attribuzione  
Fonte: modificato da Fuglie, 2012

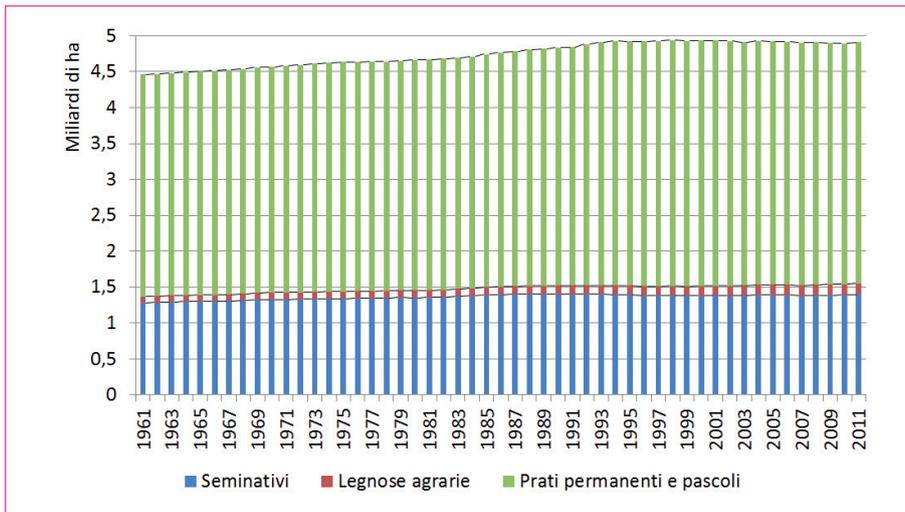


Figura 8  
Andamento della superficie agricola e delle sue componenti dal 1961 al 2011  
Fonte: FAOSTAT

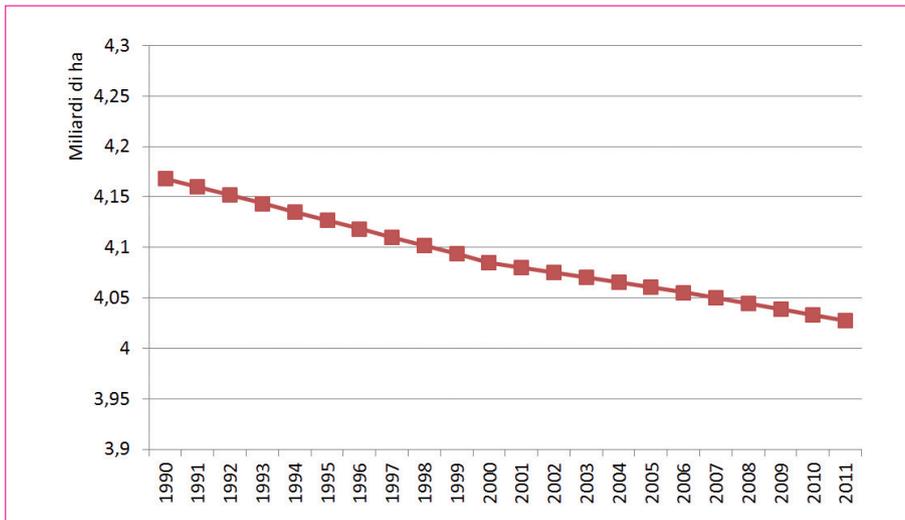


Figura 9  
Andamento globale della superficie forestata dal 1990 al 2011  
Fonte: FAOSTAT

suolo, senza considerare i costi nascosti di aumento dell'uso di fertilizzanti, di perdita di biodiversità e di deterioramento dei paesaggi.

### Risorse idriche

A livello mondiale, le risorse idriche rinnovabili ammontano a circa 42.000 km<sup>3</sup> per anno<sup>2</sup>. Il consumo di acqua è praticamente raddoppiato negli ultimi cinquanta anni, raggiungendo il livello di 3900 km<sup>3</sup> per anno, di cui il 70% (o 2710 km<sup>3</sup> per anno) è destinato attualmente ad usi agricoli, il 19% ad usi industriali e l'11% a usi civili [16].

La quantità di acqua estratta è quindi ancora pari a solo il 9% dalle risorse idriche rinnovabili, ma questo dato è una media globale di livelli di sfruttamento tutt'altro che omogenei nelle diverse aree geografiche. In alcune aree, particolarmente nel Medio Oriente, nel Nord Africa e nell'Asia centrale, lo sfruttamento delle risorse idriche supera la soglia critica del 40%.

La superficie agricola irrigata è più che raddoppiata nel periodo tra il 1961 ed il 2009, passando da 139 a 301 milioni di ettari (+117%), e continua ad espandersi ad un ritmo annuo dello 0,6%. Il prelievo da falde acquifere è nello stesso tempo aumentato velocemente tanto da interessare attualmente in modo esclusivo o parziale il 40% delle terre irrigate. In alcune aree il ritmo di estrazione dalle falde freatiche è superiore alla loro capacità di reintegrazione, causando un abbassamento del loro livello e la minaccia di un loro esaurimento.

L'effetto positivo sulla produzione agricola di questa espansione delle infrastrutture e delle pratiche irrigue è fuori discussione, come

risulta anche dalla Figura 7, senza contare l'effetto indiretto della regimazione idrica sul verificarsi di inondazioni e altri disastri. L'irrigazione contribuisce difatti ad aumentare la produzione agricola per ettaro di 2-3 volte rispetto alle terre non irrigate [20]. Ma, similmente a quanto discusso per le superfici coltivabili, la competizione esercitata dagli usi civili ed industriali è destinata ad accrescersi sensibilmente nei prossimi decenni, per cui è difficilmente ipotizzabile che l'espansione della superficie irrigata possa essere sostenuta agli stessi ritmi nelle prossime decadi. La scarsità fisica di acqua è già un problema per 1.6 miliardi di

persone [21], mentre le stime prevedono che nel 2025 1.8 miliardi di persone vivranno in Paesi con scarsità assoluta di acqua [22].

### Risorse genetiche

Le pratiche agricole non sostenibili hanno anche contribuito, insieme ad altre cause, quali la perdita o la frammentazione di habitat naturali, il supersfruttamento di specie animali e vegetali spontanee, l'inquinamento del suolo, dell'acqua e dell'atmosfera, l'invasione di specie aliene, e il cambio climatico, alla perdita di biodiversità a livello di geni, di specie e di ecosistemi [23]. Benché circa 30.000 specie vegetali siano commestibili e circa 7.000 siano state coltivate o raccolte a fini alimentari, il 95 % del fabbisogno alimentare è prodotto da solo trenta specie e più del 50% da tre piante coltivate (frumento, mais e riso). La coltivazione di queste tre colture si è espansa in maggior misura rispetto alle altre colture ed è arrivata nel 2012 ad occupare poco meno del 40% dell'intera superficie coltivata (Figura 12). Tra le specie riportate come coltivate, 900 sono considerate a rischio di estinzione e 14 sono irrimediabilmente estinte. Anche la variabilità intraspecifica delle specie coltivate è in diminuzione a causa della sostituzione delle varietà tradizionali con poche varietà migliorate.

Anche nel settore forestale esiste una grave minaccia alla biodiversità giacché il 50% delle specie forestali sono minacciate o soggette ad erosione genetica [24]. La deforestazione è comunque una della più importanti

cause di perdita della biodiversità considerato che le foreste ospitano circa tre quarti della biodiversità terrestre totale. Si stima che la distruzione di foreste pluviali delle aree tropicali causa l'estinzione di circa 100 specie per giorno [25].

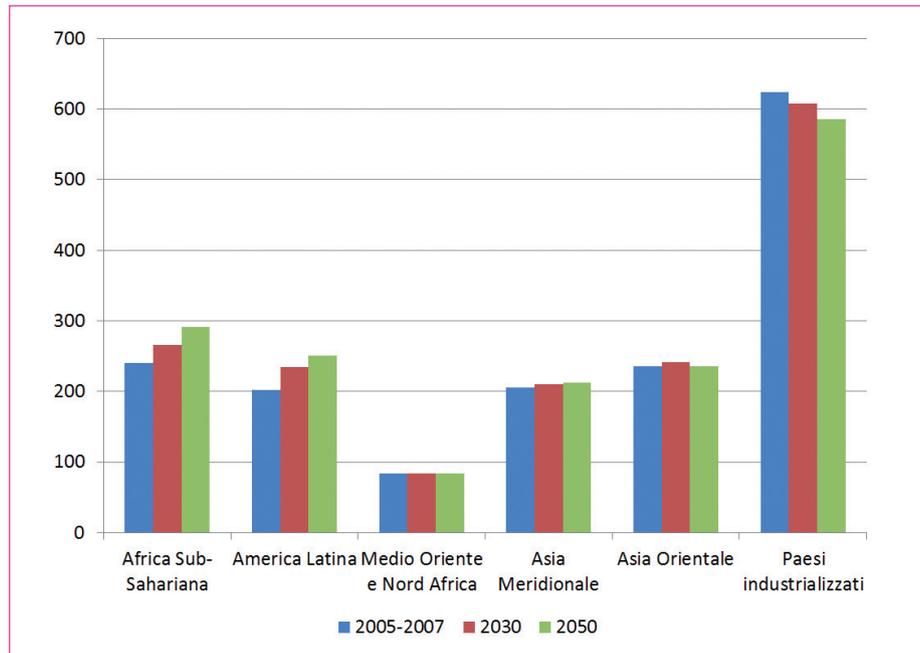


Figura 10  
Proiezione al 2030 e 2050 della superficie globale dei seminativi e confronto con il 2005-07 (milioni di ettari)  
Fonte: Alexandratos e Bruinsma, 2012

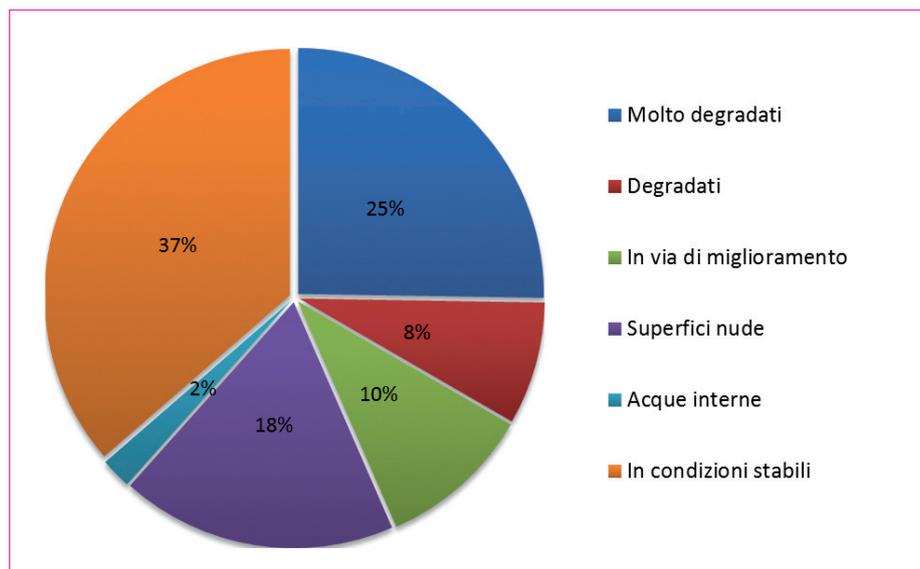


Figura 11  
Stato dei suoli  
Fonte: FAO, 2011

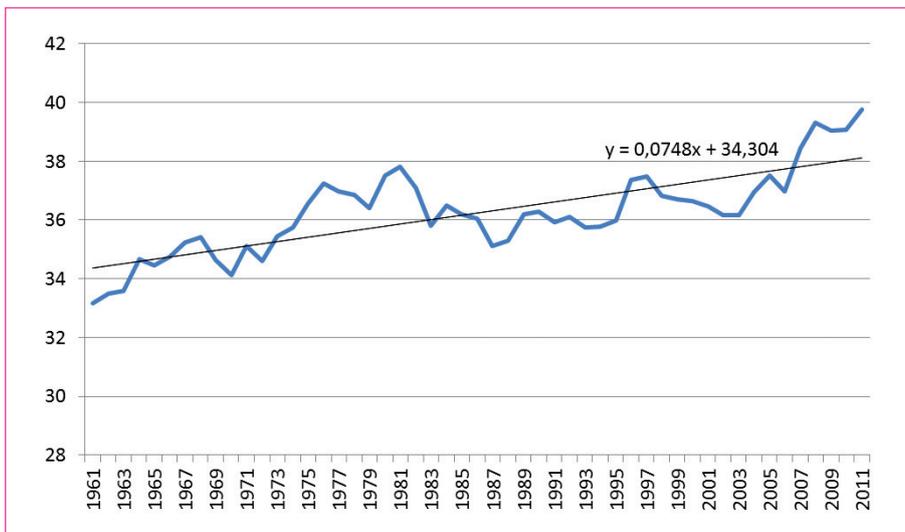


Figura 12  
Superficie globale coltivata con i tre maggiori cereali (frumento, riso e mais) - Percentuale sulla superficie totale dedicata a seminativi (la linea nera indica la tendenza lineare)  
Fonte: nostra elaborazione di dati FAOSTAT

Similmente, delle 50.000 specie di mammiferi ed uccelli esistenti sulla terra, solo 40 sono state domesticate e meno di 14 specie producono più del 90% della produzione zootecnica mondiale [26]. Ognuna di queste specie animale ha sviluppato una grande variabilità, ma il 20% delle 7616 razze animali censite dal FAO's *Global Databank for Animal Genetic Resources for Food and Agriculture* sono classificate come a rischio di estinzione mentre 690 sono già estinte [27].

Più del 50% degli stock ittici sono completamente sfruttati, mentre il 17% sono sovrasfruttati e l'8% sono esauriti o in corso di recupero. La FAO stima che in tutto il mondo si allevino 236 specie acquatiche, ivi compresi pesci, molluschi, crostacei e piante, la maggior parte delle quali è stata domesticata negli ultimi 25 anni [22]. La grande ricchezza di risorse genetiche di organismi acquatici offre enormi potenzialità al settore della acquacoltura per aumentare il suo contributo alla produzione mondiale di alimenti.

La diversità degli invertebrati e dei microrganismi costituisce la cosiddetta biodiversità occulta, perché invisibile, ma fornitrice di essenziali servizi ecosistemici quali l'impollinazione, la rigenerazione della fertilità del suolo, il sequestro di anidride carbonica atmosferica, l'equilibrio delle popolazioni di patogeni e parassiti e la digeribilità dei foraggi. Molti microrganismi trovano applicazione nell'industria agroalimentare. Nonostante l'unanime riconoscimento della loro importanza strategica, la diversità di microrganismi

ed invertebrati è minacciata da molti fattori, compreso l'uso di presidi sanitari.

Anche se la perdita di biodiversità degli ecosistemi agricoli ha un significato relativamente poco rilevante in termini di perdita di biodiversità globale, l'erosione genetica delle varietà e delle specie di piante coltivate e dei relativi parenti selvatici (fonti riconosciute di diversità genetica) nonché delle specie e delle razze di animali allevati è sicuramente causa di grande preoccupazione, in quanto ha importanti implicazioni sulla sostenibilità della produzione di alimenti. L'erosione

delle risorse genetiche agricole comporta, difatti, la perdita del potenziale di adattamento delle colture a nuove condizioni socio-economiche o ambientali, incluso il cambio climatico, e a mutate esigenze dei mercati. La variabilità genetica delle piante coltivate e degli animali in produzione zootecnica è inoltre fonte di caratteri di rilevanza economica o scientifica. La conservazione della diversità genetica di animali e piante domestici riveste quindi importanza strategica per la sicurezza alimentare, oltre a preservare valori di grande interesse culturale e storico.

### Energia

Gli aumenti di produttività della produzione agricola sono stati resi possibile anche da un'abbondante disponibilità di combustibili di origine fossile a prezzo relativamente basso, che ha permesso di espandere la meccanizzazione delle pratiche agricole, l'irrigazione, la produzione e l'uso di fertilizzanti e di altri prodotti chimici, ed il trasporto e la conservazione di prodotti deperibili. Il prezzo dei combustibili di origine fossile è aumentato notevolmente negli ultimi anni, promuovendo in molti casi interventi di razionalizzazione energetica dei sistemi agroalimentari. Un ripensamento del ruolo dell'energia in agricoltura è comunque necessario quando si considerano le opzioni per migliorare la sostenibilità della produzione agroalimentare, anche per le dirette ripercussioni sulla emissione di gas serra e sul conseguente cambiamento climatico.

## Misure per la transizione verso metodi di produzione primaria più sostenibili

Per azzerare il deficit alimentare previsto per la metà di questo secolo, limitando nel contempo la pressione sulle risorse naturali e soprattutto sulla risorsa terra, si può agire alternativamente o contemporaneamente sui due lati dell'equazione: riducendo la domanda di alimenti, in termini sia quantitativi che qualitativi, e/o aumentando l'offerta (Tabella 1). La prima opzione comprende, oltre alla riduzione della crescita demografica, la riduzione degli sprechi e delle perdite delle filiere di trasformazione e distribuzione di alimenti, l'adozione di diete proporzionate ai consumi energetici, la riduzione del consumo di prodotti di origine animale in genere e, in particolare, di quelli derivati da allevamenti con basso tasso di conversione dei mangimi (carne bovina). A questi provvedimenti si può accompagnare la riduzione o la eliminazione della distrazione di prodotti agricoli per usi non alimentari, come per esempio per la produzione di biocarburanti.

Queste possibili misure di intervento, che dovranno comunque tenere in conto le preferenze determinate da usanze tradizionali, credenze culturali o dettami religiosi, saranno discusse in dettaglio in altri inserti della rivista ed esulano quindi dal tema di questo lavoro. Va qui comunque sottolineato che la diminuzione (o il contenimento) della domanda, accompagnato da opportuni ripensamenti della logistica di distribuzione degli alimenti, provoca la diminuzione (o il contenimento) dell'offerta e quindi dell'uso delle risorse naturali che sostengono la produzione agricola.

Anche se le strategie di riduzione della domanda di alimenti fossero coronate da pieno successo, cosa tutt'altro che garantita, non sarebbero comunque sufficienti ad equilibrare l'equazione domanda-offerta e persisterebbe quindi la necessità di aumentare la produzione alimentare. Per evitare di ampliare ulteriormente la frontiera agricola a scapito di foreste o di aree comunque ricoperte da vegetazione naturale, le pratiche adottate per la produzione agricola dovranno subire modificazioni incisive, consentendo significativi incrementi di produttività [11]. La prima misura da attuare risponde quindi a questa finalità: sviluppare, adattare e adottare pratiche agricole, quali varietà migliorate di piante agrarie e nuove razze di animali domestici e tecniche agronomiche e zootecniche ottimizzate, che consentano di aumentare la produttività delle aree già dedicate alla produzione agricola. L'aumento della frequenza dei cicli colturali sugli stessi appezzamenti rappresenta una opzione con buone

potenzialità per aumentare virtualmente la superficie coltivata. In poche parole questa misura consiste nella "intensificazione sostenibile della produzione agricola", definita come "aumento della produzione senza impatti ambientali negativi e senza coltivare più terra" [28]. Una simulazione con il modello IMPACT (*International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade*) ha mostrato come l'introduzione di alcune tecnologie d'intensificazione sostenibile dell'agricoltura può portare a significative riduzioni dell'espansione della superficie coltivata a mais, frumento e riso [29].

Inoltre, grandi miglioramenti della produttività agricola sono raggiungibili diminuendo il divario di produttività tra le produzioni potenziali e quelle ottenute dalle aziende meno efficienti [30]. A tal fine è necessario assicurare che i piccoli agricoltori abbiano accesso alle conoscenze ed alle tecnologie, migliorando i servizi di assistenza tecnica, al credito ed alla commercializzazione di prodotti. Nello stesso tempo, è necessario migliorare la gestione delle altre risorse naturali, acqua e fertilità del suolo nelle aziende di tutte le dimensioni, per migliorare la sostenibilità del sistema di produzione agricola.

La produzione zootecnica merita un discorso a parte, considerato che l'80% della superficie agricola è destinato a prati e a pascoli o alla produzione di mangimi per gli animali in allevamento, come già ricordato. Gli aumenti di produttività ottenuti con l'introduzione di migliorate tecniche agronomiche o zootecniche acquistano pertanto un grande valore. Il miglioramento di produttività di prati permanenti e di pascoli, in particolare, può migliorare la competitività degli allevamenti estensivi di animali poligastrici e ridurre la pressione per la produzione di mangimi concentrati.

L'espansione dell'acquacoltura, oltre a sostituire parzialmente la pesca di cattura, e alleggerire di conseguenza lo sfruttamento degli stock naturali a rischio di estinzione, permetterebbe di accrescere l'offerta di proteine animali senza aumentare la pressione esercitata dagli allevamenti zootecnici.

Infine, abbattere le disuguaglianze di genere, migliorando l'accesso delle donne all'educazione, ai diritti civili, ai servizi, all'associazionismo professionale, sindacale e politico, al credito e ai servizi, avrebbe molteplici effetti positivi, sia sulla domanda che sulla produzione di alimenti. Si stima per esempio che se le donne avessero garantiti gli stessi diritti degli uomini, potrebbero migliorare la produttività delle loro aziende agrarie del 20-30%, con un incremento totale della produzione agricola dei Paesi in via di sviluppo del

	Misure	Effetti attesi	Commento
Riduzione della domanda di alimenti	Adozione di politiche di riduzione della crescita demografica	Diminuzione della crescita della domanda	Già in atto in molti Paesi, di difficile attuazione generalizzata
	Riduzione degli sprechi e delle perdite delle filiere di trasformazione e distribuzione di alimenti	Risparmi fino al 25-30% degli alimenti prodotti	Dimensione etica
	Adozione di diete proporzionate ai consumi energetici e riduzione della sovralimentazione	Diminuzione della crescita della domanda	Comporterebbe anche la riduzione degli effetti negativi di sovrappeso e obesità (Malattie cardiovascolari, diabete, cancro)
	Riduzione del consumo pro-capite di proteine di origine animale	Diminuzione della quota di prodotti agricoli utilizzati come mangimi	Il consumo di proteine di origine animale è in crescita ed è già eccessivo in molti Paesi
	Aumento del consumo di proteine derivate da produzioni animali a migliore tasso di conversione dei mangimi (latte, uova, pollame e pesce)	Limitazione della produzione di carne bovina e aumento altre produzioni zootecniche più efficienti, quindi Diminuzione della quota di prodotti agricoli utilizzati come mangimi	La produzione di carne bovina ha un costo ambientale più alto di quella di altri prodotti animali
	Equità di genere (accesso ad educazione, diritti, vita politica e associativa, servizi, credito ecc.)	Migliore gestione della alimentazione delle famiglie	Dimensione etica. Si applica anche a minoranze svantaggiate ed emarginate, per es. le comunità indigene
Aumento della offerta di alimenti	Sviluppo e diffusione di migliori pratiche agronomiche e zootecniche, materiali genetici migliorati, aumento della frequenza delle coltivazioni.	Aumento della produttività unitaria delle terre coltivate	Limitazione della espansione della frontiera agricola e della distruzione di habitat naturali
	Sviluppo e diffusione di migliori pratiche di gestione di acqua e nutrienti, adattamento al cambio climatico	Limitazione del degrado dei suoli e dell'inquinamento degli acquiferi, migliore efficienza dell'uso di risorse naturali	Evita l'abbandono di terre coltivate non più (o meno) produttive
	Miglioramento della gestione di prati permanenti e pascoli.	L'aumento di produttività di prati permanenti e pascoli	Migliore competitività e quindi espansione degli allevamenti estensivi.
	Miglioramento dell'accesso dei piccoli agricoltori alle tecnologie, al credito, ai servizi di assistenza tecnica, alla commercializzazione dei prodotti.	Riduzione del divario di produttività tra aziende più avanzate e aziende meno efficienti	Anche miglioramento del reddito dei produttori più poveri
	Espansione della acquacultura	Sostituzione graduale della pesca di cattura	Permetterebbe l'uso di mare e acque interne per incrementare la disponibilità di proteine animali
	Equità di genere (accesso ad educazione, diritti, vita politica e associativa, servizi, credito ecc.)	Maggiore produttività delle piccole aziende agricole	Dimensione etica. Si applica anche a minoranze svantaggiate ed emarginate, per es. le comunità indigene

Tabella 1  
Misure per soddisfare in modo sostenibile la domanda di alimenti

2,5-4% [31]. Anche una maggiore equità per le minoranze svantaggiate ed emarginate, come per esempio

le comunità indigene, avrebbe conseguenze positive sulla sostenibilità delle produzioni.

## Conclusioni

Il sistema produttivo agricolo mondiale riesce a soddisfare la domanda globale di alimenti, ma consuma le risorse naturali su cui si basa – terra, suolo, acqua e biodiversità – ad un ritmo superiore alla loro capacità naturale di rigenerazione e non è quindi sostenibile nel lungo termine. La prevista espansione quali-quantitativa della domanda mondiale di alimenti esacerberà ulteriormente la scarsità di terra coltivabile e delle altre risorse naturali su cui si basa la produzione agricola.

La sfida che dobbiamo affrontare è quindi quella di soddisfare la crescente domanda alimentare mondiale riducendo i tre maggiori impatti ambientali dei sistemi produttivi oggi in essere: la distruzione degli ecosistemi naturali derivata dall'espansione della frontiera agricola; il cambiamento climatico causato dalle pratiche agricole e zootecniche e dalla deforestazione; e la riduzione delle riserve di acqua dolce, a causa sia dei ritmi di estrazione superiori a quelli di reintegrazione, che dell'inquinamento degli acquiferi. Bisogna pertanto promuovere sistemi agricoli capaci di produrre di più, consumando meno risorse naturali. Ciò è possibile solo con un cambiamento radicale dei paradigmi di produzione, agendo sulla produttività totale dei fattori di produzione, sviluppando cioè i fattori immateriali di produzione [14]. In altre parole si deve ampliare le conoscenze ed espandere la capacità di trasformare le conoscenze in valore (economico, sociale, ambientale), aumentando l'intensità delle conoscenze applicate alla produzione agricola. Ricerca, assistenza tecnica agli agricoltori e istruzione giocano pertanto un ruolo sempre più essenziale per aumentare in modo sosteni-

bile la produttività agricola e per limitare il consumo delle risorse naturali, insieme alla organizzazione degli agricoltori in associazioni e cooperative. Gli obiettivi per l'agenda di sviluppo post-2015, definiti dalle istanze politiche a livello globale [32], comprendono molte delle misure discusse in questo articolo, ma possono essere realizzati solo con adeguati investimenti.

Le conoscenze sviluppate e le tecnologie oggi applicate sono il frutto di un lungo processo di coevoluzione in atto sin dall'origine delle coltivazioni e dell'allevamento di animali. La crescente complessità della produzione agricola e della sua gestione ha portato ad adottare un approccio riduzionistico, a segmentare cioè la realtà in una serie di fenomeni, studiati singolarmente da discipline differenti. La transizione verso sistemi di produzione più sostenibili richiede ora la ricomposizione dei singoli elementi in una visione integrata. I moderni strumenti cognitivi e di analisi dei dati acquisiti permettono oggi di governare la complessità delle conoscenze e di definire strategie complesse di intervento. Le misure suggerite nel capitolo precedente hanno inoltre valenza assai diversa, dalla scala globale alla dimensione locale, e viceversa, passando per tutte le gradazioni intermedie, ma sono spesso mutuamente interdipendenti. La molteplicità, delle situazioni locali, degli attori e dei livelli di governance implicati rende ancor più complesse le strategie da adottare. Oltre all'integrazione disciplinare è quindi necessario mettere in gioco l'integrazione degli interventi e della loro scala.

**Andrea Sonnino**

FAO, Research and Extension Unit



## Bibliografia

1. A. Sonnino (2013), "Biotechnologie e sicurezza alimentare", *Energia, Ambiente, Innovazione*, 59 (1): 53-60.
2. UN Population Division (2014), "World population prospects: the 2014 revision", United Nations, New York.
3. FAO, IFAD, WFP (2014), "The State of Food Insecurity in the World 2014: Strengthening the enabling environment for food security and nutrition", FAO, Rome.
4. FAO (2013), "The State of Food and Agriculture: food systems for better nutrition", FAO, Rome.
5. WHO (2014), "WHO Fact Sheet No. 311, reviewed May 2014", WHO, Geneva.
6. UNDESA (2014), "World Urbanization Prospects: the 2014 revision – Highlights", United Nations Department of Economic and Social Affairs, New York.
7. M. Harris (1985), "Good to eat: riddles of food and culture", Waveland Press Inc., Long Grove.
8. C. Delgado (2003), "Rising Consumption of Meat and Milk in Developing Countries Has Created a New Food Revolution", *J. Nutrition*. 133 (11): 3907S-3910S.
9. P. Pingali, E. McCulloch (2010), "Drivers of change in global agriculture and livestock systems", In: H. Steinfeld, H.A. Mooney, F. Schneider & L.E. Neville, "Livestock in a changing landscape", SCOPE.
10. FAO (2009), "The State of Food and Agriculture: livestock in the balance", FAO, Rome.
11. WRI (2013), "Creating a sustainable food future: Interim findings", World Resource Institute, Washington DC.
12. C. Delgado, M. Rosegrant, H. Steinfeld, S. Ehui, & C. Courbois (1999) "Livestock to 2020: The Next Food Revolution", Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 28, International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
13. FAO (2014), "The State of World Fisheries and Aquaculture: Opportunities and challenges", FAO, Rome.
14. K. Fuglie (2012), "Productivity Growth and Technology Capital in the Global Agricultural Economy", In: *Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective* (O. Keith, Fuglie, Sun Ling Wang, V. Eldon Ball, eds.), chapter 16, CAB International, Oxfordshire.
15. H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. De Haan (2006), "Livestock's long shadow: environmental issues and options", FAO, Rome.
16. FAO (2011a), "The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) - Managing systems at risk", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, London.
17. N. Alexandratos, J. Bruinsma (2012), "World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision", ESA Working paper, No. 12-03, FAO, Rome.
18. F. O. Nachtergaele, M. Petri, R. Biancalani, G. van Lynden, H. van Velthuisen, M. Bloise (2011), "LADA Technical report" No. 17, Global Land Degradation Information System (GLADIS), Version 1.0., LADA, Roma.
19. R. A. Jat, K. L. Sahrawat, A. H. Kassam, T. Friedrich (2014), "Conservation Agriculture for Sustainable and Resilient Agriculture: Global Status, Prospects and Challenges", In: *Conservation agriculture: global prospects and challenges* (R. A. Jat, K. L. Sahrawat, A. Kassam, eds.), CAB International, Oxfordshire.
20. FAO, IFAD (2006), "Water for food, agriculture and rural livelihoods" Chapter 7 of the 2nd UN World Water Development Report: 'Water, a shared responsibility', FAO and the International Fund for Agricultural Development, Rome.
21. IWMI (2007), "Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water management in Agriculture" Earthscan, London e Colombo.
22. UN-Water (2006), "Coping with Water Scarcity, A Strategic Issue and Priority for System-wide Action", UN-Water Thematic Initiatives.
23. A. Sonnino (2012), "Biodiversidad y biotecnologías: el eslabón estratégico", In: V. Ivone (ed.) *Biodiversidad, Biotecnología y Derecho. Un crisol para la sustentabilidad*, páginas 299-320, Aracne editrice, Roma.
24. CGRFA, FAO (2014), "The State of world's forest genetic resources", FAO, Rome.
25. World Bank (2004), "World Development Report 2004: making services work for poor people", Washington DC.
26. P. Lidder, A. Sonnino (2012), "Biotechnologies for the Management of Genetic Resources for Food and Agriculture", *Advances in Genetics* vol. 78: 1-168.
27. FAO (2007), "The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture", edited by Barbara Rischkowsky & Dafydd Pilling, Rome.
28. The Royal Society (2009), "Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture", London.
29. C. Ringler, N. Cenacchi, Jawoo Koo, R. Robertson, M. Fisher, C. Cox, N. Perez, K. Garret, M. Rosegrant (2014), "The promise of innovative farming practices", In: 2013 Global Food Policy Report, IFPRI, Washington DC.
30. N.D. Mueller, G.S. Gerber, M. Johnstone, D.K. Ray, N. Ramankutty, J.A. Foley (2012), "Closing yield gaps through nutrient and water management", *Nature* 490, 254–257.
31. FAO (2011b), "The State of Food and Agriculture: Women in agriculture: closing the gender gap for development" FAO, Rome.
32. High Level Panel of Experts (HLPE) Report (2013), "A new global partnership: eradicate poverty and transform economies through sustainable development", United Nations, New York.

## Note

1. Le informazioni sono presentate come numeri indici per permettere il confronto tra grandezze diverse e facilitare la valutazione delle variazioni temporali.
2. Un chilometro cubo è equivalente a 1.000 miliardi di litri.

## La difesa del suolo nell'azione della comunità internazionale

R. Nocera

*La terra è una risorsa finita. Desertificazione, cambiamento climatico, inquinamento, insediamenti umani e attività antropiche, minacciano l'integrità del suolo e la sua capacità di "nutrire il pianeta". In una crescente consapevolezza, la comunità internazionale sta moltiplicando l'azione per promuovere globalmente misure per la difesa e la conservazione del suolo, a partire dalla lotta alla desertificazione, con l'obiettivo di arrivare a una Land Degradation Neutrality al 2050.*

### La difesa del suolo: non solo una questione ambientale

Il 2015 è stato dichiarato Anno Internazionale del Suolo, una iniziativa promossa dalla Food and Agriculture Organization (FAO) delle Nazioni Unite che accende i riflettori su una risorsa primaria e fondamentale per l'umanità e per il pianeta: la terra. Alla disponibilità presente

e futura di suolo da destinare a fini produttivi, e agricoli in particolare, è legata la sopravvivenza stessa dell'uomo. La produzione di derrate alimentari, ma anche di foraggio per l'allevamento, di fibre tessili, di legname, di medicinali; la conservazione della biodiversità del pianeta; la disponibilità di acqua; la resilienza rispetto al cambiamento climatico e la sopravvivenza stessa delle popolazioni rurali sono legate alla disponibilità di terre arabili e produttive. Il suolo è però un ecosistema fragile, sempre più esposto alla minaccia della desertificazione che ogni anno rende inservibili circa 12 milioni di ettari di terreno, che si aggiungono ai 3,6 miliardi di ettari già oggi classificati come deserti o terre aride, pari a circa il 25% della superficie emersa. Desertificazione non significa soltanto avanzata dei deserti ma, piuttosto, persistente deterioramento

del suolo – deforestazione, erosione, impermeabilizzazione, salinizzazione, alcalinizzazione – a causa delle attività antropiche, delle variazioni climatiche, delle ripetute siccità, del consumo di suolo, in un processo che innesca una spirale perversa sotto il profilo ambientale ma, soprattutto, socio-economico poiché la desertificazione genera povertà diffusa. La questione dell'uso sostenibile del suolo, insieme con i cambiamenti climatici e la perdita di biodiversità, è stata identificata dalla comunità internazionale come una delle maggiori sfide per lo sviluppo sostenibile. Ad essa sono legati aspetti critici dello sviluppo quali la riduzione della povertà, la sicurezza alimentare, l'agricoltura, l'accesso all'acqua, la produzione di pascolo e di energia rinnovabile. Per questa ragione il tema della gestione e conservazione del suolo ha acquisito una importanza crescente

nel dibattito internazionale, in una consapevolezza che ha portato all'adozione di misure e politiche per il contrasto alla desertificazione e la promozione di modelli sostenibili di uso del suolo.

### Il suolo come policy globale: dalla Conferenza di Nairobi a Rio +20

Il primo atto risale al 1977, con il mondo ancora scosso dalle immagini della carestia nell'Africa sub-sahariana. L'ONU fa risuonare il campanello di allarme sulle minacce all'integrità del suolo nella Conferenza di Nairobi sulla desertificazione che porterà all'adozione di un Piano di Azione.

Nel 1982 con l'adozione della *World Soil Charter*, è la FAO ad essere protagonista dell'azione a difesa del suolo. La Carta enuncia i principi per uno sfruttamento razionale del suolo, in grado di assicurare al tempo stesso l'incremento di produttività delle terre fertili e la conservazione per le generazioni future, richiamando i Governi e le Organizzazioni internazionali ad operare secondo una visione di lungo periodo, sulla base di un coinvolgimento attivo delle popolazioni con misure di incentivazione, formazione, supporto.

La *World Soil Charter*, tuttavia, è rimasta largamente inattuata. Occorre attendere dieci anni per un passo in avanti delle politiche del suolo quando, a seguito della Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (Earth Summit) di Rio del 1992, il tema della gestione sostenibile e conservazione del suolo viene inserito in un quadro giuridicamente vincolante per i Governi. Il 17 giugno 1994 viene adottata a Parigi la Convenzione delle Nazioni Unite per il Contrasto alla Desertificazione (UNCCD), un accordo in-

ternazionale sottoscritto ad oggi da 195 paesi quale strumento di una partnership globale per migliorare le condizioni di vita delle popolazioni in terre aride, mantenere e ripristinare la terra e la produttività del suolo, mitigare gli effetti della siccità e ridurre la povertà.

Al centro della Convenzione il nesso tra ambiente, sviluppo, e conservazione del suolo. La priorità è difatti legata alla necessità di identificare e intervenire sulle interdipendenze tra desertificazione, degrado dei suoli, siccità e temi chiave quali biodiversità, cambiamento climatico, sicurezza alimentare, conservazione delle foreste, accesso all'acqua. Temi che non sono appannaggio di alcune regioni del mondo dove la desertificazione avanza con estrema rapidità (Africa, ma anche America Latina e Cina), ma interessano l'intero pianeta richiedendo un'azione globale.

La UNCCD, e più di recente la Strategia Decennale di attuazione (*The 10-year strategic plan and framework to enhance the implementation of the Convention 2008–2018*), impegna i Governi ad adottare misure di policy a livello nazionale e internazionale, strategie ed azioni per dare effettività alla Convenzione: attività di formazione, informazione, educazione; capacity building delle comunità e delle istituzioni locali; costituzione di reti di monitoraggio, indicatori e sistemi di diffusione delle conoscenze, ma anche collaborazione tra paesi industrializzati e paesi in via di sviluppo per il trasferimento di buone pratiche, tecnologie, metodologie e progetti e, soprattutto, per mobilitare investimenti e schemi finanziari innovativi. La UNCCD, tuttavia, non è uno strumento isolato di intervento. Proprio perché nasce da un approccio sistemico allo sviluppo sostenibile nel lungo termine, opera in siner-

gia con le altre due "Convenzioni sorelle" scaturite dal Vertice di Rio: la Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) e la Convenzione sulla protezione della biodiversità (CBD), una sinergia che sottolinea le interdipendenze tra i temi e la necessità di decisioni globali su terra, cambiamento climatico e conservazione degli eco-sistemi.

Il suolo, infatti, non solo è "la casa" che ospita le attività e gli insediamenti umani e determina le condizioni per la sussistenza dell'umanità, ma è una "piattaforma" di servizi eco-sistemici più ampi. Oltre alla produzione di biomassa (per fini alimentari ed energetici), il suolo svolge funzioni vitali connesse al ciclo idrologico, alla cattura e stoccaggio del carbonio, divenendo elemento centrale nelle misure di adattamento e contrasto al cambiamento climatico. Ben si comprende quindi, come Rio abbia inquadrato le politiche per il suolo in una visione multidimensionale delle minacce all'eco-sistema.

Si indirizza invece esplicitamente alla necessità di una governance globale sull'uso del suolo l'iniziativa promossa dalla FAO per una *Global Soil Partnership for Food Security (GSP)*. Lanciata nel 2011, la GSP si propone come risposta alla necessità di politiche coordinate e integrate sull'uso del suolo, con l'obiettivo di coordinare iniziative e risorse frammentate tra una pluralità di attori e soggetti, per garantire che il tema dell'uso razionale e non competitivo del suolo sia adeguatamente rappresentato nel dialogo sul cambiamento globale e nei processi decisionali.

Centrale nella visione della GSP la gestione e l'uso sostenibile della risorsa suolo: assicurare il mantenimento di terreni sani e produttivi promuovendo l'uso sostenibile de-

gli input agricoli (e non) per la gestione della salute del suolo e degli ecosistemi.

Da Rio in poi la comunità internazionale, l'ONU in particolare e le sue agenzie specializzate, ha messo il suolo al centro della visione dello sviluppo, sia sottolineandone gli aspetti ambientali, come nella istituzione del Decennio della lotta alla desertificazione (2010-2020), sia quelli socio-economici legati agli obiettivi di riduzione della povertà nei Millennium Development Goals. Con Rio +20 si fa un ulteriore passo avanti nella riflessione globale sul suolo.

In vista della Conferenza sullo sviluppo sostenibile di Rio +20, è ancora l'ONU a lanciare una grande iniziativa per la *Zero Net Land Degradation* come obiettivo al 2050 che, in una visione ancora più ampia delle politiche del suolo, chiede ai Governi di agire per arrestare un ulteriore degrado del suolo e ripristinare gli eco-sistemi dove il degrado ha già compromesso la fertilità e produttività delle terre. Sebbene l'intento di definire target vincolanti di protezione del suolo anche per la UNCCD, analogamente a quanto previsto dalle Convenzioni per la biodiversità e il cambiamento climatico, sia stato disatteso, Rio +20 ha comunque segnato una tappa importante: nel Documento finale i Governi hanno sottoscritto l'impegno ad operare verso la *land degradation neutrality*, riaffermando la centralità della UNCCD per il coordinamento delle policy a livello nazionale, regionale, sovranazionale.

### L'agenda europea per la protezione e conservazione del suolo

Anche l'Unione Europea ha avviato passi importanti in materia di uso

sostenibile del suolo, sebbene manchi ancora un quadro di riferimento organico. Il suolo è certamente centrale in molte politiche settoriali dell'Unione Europea – agricoltura, acqua, rifiuti, sostanze chimiche, inquinamento ambientale –, ma senza costituire un quadro giuridico coerente per la protezione del suolo.

In attesa di un atto di rango legislativo, il cui processo decisionale è stato messo in stand by e rimandato alla nuova Commissione insediata nel dicembre 2014, l'Unione Europea ha però adottato una Strategia Tematica per la Protezione del Suolo (COM(2006)231), la cui strada era stata preparata dalla precedente Comunicazione (COM(2002)179). Già nella Comunicazione del 2002 vengono identificate le minacce alla integrità dei suoli rilevanti ai fini della formulazione di policy e misure di intervento.

Sul solco tracciato nel 2002, la Strategia Tematica delinea un impianto di azione teso a garantire l'uso sostenibile del suolo a partire dal riconoscimento delle diverse funzioni che il suolo svolge. La Strategia stabilisce un programma di lavoro decennale per la Commissione articolato in quattro pilastri: adozione di una legislazione quadro; integrazione della protezione del suolo nelle politiche nazionali e comunitarie; sostegno alla ricerca di settore; sensibilizzazione.

Il primo pilastro – come si è detto – è rimasto inattuato. La proposta di Direttiva Quadro (COM(2006)232), un *framework* che delinea i principi generali di intervento lasciando agli Stati membri la facoltà di decidere sulle misure specifiche da adottare per la protezione del suolo, è stata ritirata dalla Commissione con decisione del 30 aprile 2014, dopo essere stata pendente in Consiglio per otto anni, bloccata dal veto di una minoranza di Stati.

Questo non significa che la questione del degrado del suolo sia stata relegata in secondo piano. Essa rimane centrale nell'agenda dell'Unione Europea, comunque sostenuta dalla Strategia, che costituisce una *roadmap* decennale e un approccio sistematico al tema della protezione, ripristino e mantenimento del suolo e delle sue funzioni, e rafforzata dalla *Tabella di marcia per una Europa efficiente nell'impiego delle risorse* (COM(2011)571). La strategia sulla *resource-efficiency*, varata nel quadro di Europa 2020, stabilisce che entro il 2020, le politiche dell'UE tengano conto del loro impatto diretto e indiretto sulla destinazione dei terreni nella UE e nel mondo, e che il livello di consumo di suolo sia in linea con l'obiettivo raggiungere al 2050 un tasso zero di occupazione di nuove terre.

Nell'UE ogni anno oltre 1.000 km<sup>2</sup> di nuovi terreni sono utilizzati per costruire abitazioni, industrie, strade o a fini ricreativi. Complessivamente, ogni dieci anni si edifica una superficie pari all'isola di Cipro. Si tratta di una pressione sulla risorsa suolo non più sostenibile, che si aggiunge e accresce i processi di degrado dei suoli rispetto ai quali l'Europa non è immune: erosione, perdita di materia organica, contaminazione, desertificazione. Il suolo richiede un approccio integrato, ed è questa la visione del 7° *Programma Comunitario di Azione Ambientale al 2020 «Vivere bene entro i limiti del nostro pianeta»*, entrato in vigore nel gennaio 2014, che costituisce il quadro complessivo di azione dell'Unione Europea in materia ambientale. Riconoscendo l'insieme delle pressioni sul suolo, il nuovo Programma di Azione ambientale impone di intervenire per garantire che in Europa tutte le decisioni relative all'uso dei terreni tengano conto degli impatti

ambientali, oltre che sociali ed economici, chiedendo agli Stati membri di riflettere su come affrontare

le problematiche legate alla qualità del suolo all'interno di un quadro giuridico vincolante.

**Rachele Nocera**  
ENEA, Unità Centrale Relazioni, Servizio Relazioni Internazionali

## Timeline policy globali protezione del suolo e lotta alla desertificazione

- 1977: l'ONU promuove la Conferenza sulla Desertificazione di Nairobi da cui deriva il Piano di Azione per combattere la desertificazione (PACD)
- 1982: la FAO adotta la World Soil Charter
- 1992: si svolge a Rio de Janeiro, la Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile (Conferenza di Rio o Earth Summit). La Conferenza invita l'Assemblea Generale dell'ONU a preparare i lavori per uno strumento vincolante di contrasto alla desertificazione
- 1994: la Convenzione delle Nazioni Unite per Combattere la Desertificazione (UNCCD) viene adottata a Parigi, il 17 gennaio
- 2000: viene adottata la Dichiarazione del Millennio delle Nazioni Unite, che impegna le nazioni a una nuova partnership globale per ridurre la povertà estrema e stabilisce una serie di obiettivi al 2015 noti come Millennium Development Goals. Il tema del suolo è richiamato negli obiettivi di protezione ambientale e contrasto alla deforestazione e chiaramente legato all'obiettivo di riduzione della povertà.
- 2006: Anno Internazionale dei Deserti e della Desertificazione
- 2008: i paesi sottoscrittori della UNCCD adottano la Strategia decennale di implementazione della Convenzione (Ten-year strategic plan and framework to enhance the implementation of the Convention (2008–2018, the Strategy).
- 2010: l'ONU lancia il Decennio dei Deserti e della Lotta alla Desertificazione
- 2011: la FAO promuove la Global Soil Partnership
- 2011: In vista della Conferenza di Rio del 2012 (Rio +20), molti paesi chiedono alle Nazioni Unite di definire obiettivi vincolanti di protezione del suolo. L'UNCCD prepara l'istruttoria per proporre alla Conferenza un obiettivo di zero net land degradation tra gli obiettivi di sviluppo sostenibile
- 2012: a venti anni dalla Conferenza di Rio del 1992 i capi di Stato e di Governo si riuniscono a Rio per la seconda Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente e sullo sviluppo sostenibile. Il tema del suolo e del contrasto alla desertificazione è richiamato nel Documento finale di Rio +20



## Intervista a Mario Guidi, Presidente di Confagricoltura

A cura di Maura Liberatori

In questo primo inserto, a cura della rivista ENEA, in vista di EXPO 2015, abbiamo posto al centro dell'analisi l'obiettivo di "mantenere" l'estensione territoriale della Superficie Agricola Utilizzata (SAU). Rivolgiamo sul tema alcune domande al Presidente di Confagricoltura Mario Guidi.

**Un vostro recente studio quantifica la perdita di terreni coltivati, rispetto agli anni '50, intorno al 40%. Vuole brevemente spiegarci le dinamiche sottostanti a questo trend e gli aspetti che considera problematici?**

L'Italia è al 4° posto per consumo di suolo agricolo in Europa. In 60 anni abbiamo perso oltre 6 milioni di ettari di coltivazioni, la maggior parte dei quali nelle zone più vocate per l'agricoltura. La diminuzione della SAU per abitante, da 0,375 a 0,217 ha, riduce notevolmente l'autosufficienza alimentare.

Per anni si è adottato un modello di crescita economica basato su nuovi insediamenti residenziali, centri commerciali, infrastrutture, utilizzando il suolo come fosse una risorsa senza limite. Oggi ne paghiamo le conseguenze.

Vanno adottate con urgenza politiche di arresto del consumo di suolo, per non aggravare sia il deficit agroalimentare sia l'impermeabilizzazione del suolo, re-

sponsabile di gran parte del dissesto idrogeologico; per tali motivi seguiamo con attenzione il disegno di legge presentato dal Governo sull'argomento nel quale comunque vanno evitati vincoli che potrebbero gravare sugli imprenditori agricoli e limitare l'espansione della loro attività economica.

In ogni caso rimane una questione concreta: al di là della sottrazione di superficie agricola per insediamenti urbani, commerciali e infrastrutturali, la superficie agricola diminuisce a causa dell'abbandono ed aumentano anche i terreni che, pur essendo utilizzabili, non sono coltivati. Qui la questione non è tanto la concorrenza di attività diverse sul fattore terra; quanto piuttosto la scarsa redditività delle produzioni agricole che non consente alternative alla mancata coltivazione. Dobbiamo recuperare competitività riducendo i gap infrastrutturali evidenziati da Agrinsieme nei giorni scorsi con i numeri di Nomisma. E adottare politiche valide e in linea con i fabbisogni delle imprese.

**L'ampia superficie riportata al boschivo non sembra aver difeso i territori dal dissesto idrogeologico. In molti invece pensano che questa sia la soluzione. Suggestimenti?**

La presenza delle foreste e dell'arboricoltura da le-

gno è sicuramente utile alla regimazione delle acque e quindi ad impedire frane e inondazioni. Funzione che può essere incrementata attraverso il contenimento del consumo del suolo e soprattutto la realizzazione degli interventi più urgenti per la difesa del territorio dai rischi idrogeologici, prevedendo nello stesso tempo una programmazione degli interventi di manutenzione.

Poi occorre considerare che negli ultimi anni, i prezzi sempre meno remunerativi dei prodotti agricoli, hanno costretto molti imprenditori ad abbandonare le zone più disagiate di collina o di montagna. Per arrestare il dissesto idrogeologico occorre anche ristabilire un presidio diffuso degli agricoltori sul territorio, incentivando economicamente la coltivazione nelle zone più difficili. Manca poi una politica “produttiva e non solo protettiva” della risorsa legno. Sfugge come gran parte dell’arboricoltura italiana da legno sia in mano ad imprese private eppure si continua a considerare la superficie forestale come un patrimonio pubblico. L’impresa forestale, come anche le linee di sviluppo rurale ci insegnano, è attiva e contribuisce in maniera essenziale a quella “bioeconomia” per la crescita e l’occupazione che dobbiamo incentivare con politiche adeguate. Favorendo gli investimenti, qualificando le produzioni, valorizzando il prodotto ma anche il valore delle foreste in termini di contenimento delle emissioni e incentivando iniziative di filiera virtuose.

### **Recenti provvedimenti legislativi sembrano voler incentivare l'imprenditoria agricola giovanile. Le tendenze vanno verso acquisizioni di terreni marginali o a subentri nella gestione di aziende esistenti?**

Per un giovane che vuole entrare nel settore primario le difficoltà sono enormi. Oltre alla burocrazia che nel nostro Paese sta un po' dappertutto, gli enormi investimenti scoraggiano anche i più volenterosi. L'inserimento di nuovi giovani è dovuto, nella maggior parte dei casi, a subentri nella conduzione di aziende di famiglia. Ci pare da prendere in considerazione la proposta del Ministro Martina che, in occasione di una recente riunione del Consiglio dei Ministri agricoltura dell'UE, ha promosso un “piano in tre mosse” che comprende; maggiore credito (anche con le banche europee) alle iniziative promosse dai giovani agricoltori; incentivi per scambi di esperienze e capitalizzazione di conoscenze (una sorta di progetto Erasmus per i giovani agricoltori) e infine un elemento essenziale: il superamento del blocco al finanziamento dell'acquisto di terra. Un vincolo importante per iniziare ad operare

in agricoltura e che storicamente ha impedito finanziamenti in tale direzione.

### **Cosa pensa della gestione per l'affidamento di circa 5500 ettari di terreni dello Stato da affittare e vendere per riportarli all'agricoltura? Come rimuovere la burocrazia connessa all'erogazione di incentivi e favorire il successo delle relative politiche?**

Il decreto Terre Vive ha imboccato la via giusta per incoraggiare il ricambio generazionale e la modernizzazione dell'agricoltura italiana. Certamente non è sufficiente limitarsi alla concessione in affitto dei 5.500 ettari di terreno agricolo pubblico, di proprietà del Demanio, del Corpo forestale dello Stato e del CRA – Consiglio per la ricerca e sperimentazione in agricoltura – ma occorrerebbe continuare, come del resto sembra concordare anche il Ministro Martina, anche con la ‘liberazione’ di risorse delle altre amministrazioni pubbliche, gli enti locali in particolare.

### **Ha suscitato molto scalpore la decisione della Regione Toscana di rivedere/limitare, a fini di tutela paesaggistica, le coltivazioni di vite in aree universalmente note per la produzione di qualità dei vini italiani. Come il mondo produttivo agricolo italiano ha reagito? Tra i tanti interessi contrapposti sull'uso del territorio, questo vincolo è sostenibile per l'agricoltura italiana?**

L'agricoltura è tra i principali attori della conservazione del paesaggio e del territorio rurale. Ciò nonostante, il rapporto tra città, infrastrutture e campagna rappresenta un elemento critico per il governo del territorio: le aree della produzione agricola sono spesso sacrificate alle necessità di espansione urbana, mentre la tutela, compresa quella paesaggistica, è per lo più affidata a strumenti di tipo vincolistico (in alcuni casi simili a quelli delle aree protette) che non sempre valorizzano adeguatamente la funzione di produzione dell'agricoltura, anzi in alcuni casi la limitano. Per tali motivi occorre evitare che il cordone ombelicale che lega l'agricoltura con la conservazione e tutela del paesaggio rurale sia reciso attraverso strumenti di pianificazione territoriale che invece di proporre soluzioni costruttive, vincolino gran parte delle filiere agricole. Gli indirizzi politico-economici della UE e dell'attuale Governo puntano concordemente sulla crescita, attraverso lo sviluppo delle imprese produttive capaci di innovarsi e rendersi più competitive sui mercati. Tutti sembrerebbero essere concordi su questi indirizzi, ma alcuni strumenti di pianificazione territoriale, come nel

caso della Toscana, attraverso interpretazioni non sempre coerenti con il “Codice Urbani”, con l’obiettivo di perseguire la tutela del paesaggio agricolo, rischiano di produrre effetti opposti. Le numerose e giuste reazioni avviate dagli imprenditori dei settori vitivinicolo e florovivaistico in realtà rispecchiano una protesta di tutto il mondo agricolo contro l’imposizione di ulteriori vincoli, controlli e autorizzazioni che comportano un deleterio incremento di burocrazia, sprechi di tempo e costi.

**Allo stato attuale, secondo dati Istat, l’Italia presenta coltivazioni più remunerative di altre in termini di ricavi/ettaro impegnato, con fattori legati non solo alla produttività/efficienza dal lato dell’offerta, ma anche per dinamiche di domanda interna ed estera. A fronte di queste dinamiche, si aggiungono potenziali elementi distortivi legati agli incentivi alle colture energetiche. A suo parere quale dovrebbe essere la strategia per mettere in sicurezza la produzione agricola tipica italiana?**

Il settore agricolo è al centro dell’agribusiness che rappresenta, secondo recenti dati INEA, 266 miliardi di euro, quasi il 17% del PIL. Questo comprendendo tutti i settori, a monte e a valle dell’attività produttiva agricola. Negli ultimi anni è aumentato il peso dell’agricoltura nella bilancia commerciale nazionale. Dal 2007 al 2013, la quota in valore dell’export agroalimentare sul totale delle esportazioni italiane è passata da 6,6% a 8,4%. Solo sei anni fa su cento euro di export 6,6 euro erano rappresentati da prodotti agricoli e agroalimentari, oggi questo valore è salito a 8,4. Sembra poco ma è un “balzo” di quasi il 30%. Dato che consolida il ruolo dell’agricoltura come protagonista dell’export nazionale.

Per proseguire in questa direzione occorre favorire uno sviluppo del settore che garantisca crescita e occupazione a vantaggio di tutti e che allo stesso tempo sia sostenibile. Dobbiamo puntare su un mercato solido e stabile. In condizioni che diano fiducia agli operatori. Ecco perché le politiche debbono cogliere questi obiettivi: mercato, crescita, occupazione e sostenibilità. Ed è in tale contesto che si è manifestata l’esigenza dell’agricoltura di efficientare i propri processi produttivi, ridurre i costi di produzione, rendere la propria attività sempre più sostenibile dal punto di vista ambientale, diversificare la propria attività. Tutto ciò ha comportato negli ultimi anni lo sviluppo delle energie rinnovabili (con il recupero dei sottoprodotti degli effluenti zootecnici), della chimica verde (bio-plastica, biomateriali, mangimi animali ecc.) e dell’efficienza energetica.

Nella maggioranza dei casi senza entrare in competizione con le produzioni agricole, anzi integrandosi in modo completo, rilanciando la stessa capacità produttiva agricola. Oggi, ad esempio, inserire la digestione anaerobica nel ciclo produttivo dell’azienda agricola o zootecnica non comporta la riduzione di capacità dell’azienda stessa di produrre cibo e foraggi: anzi da questa integrazione nasce una maggiore capacità delle aziende agricole italiane, spesso oggi in difficoltà economica, di produrre le proprie specialità alimentari, in modo più sostenibile da un punto di vista ambientale ed economico, potendo contare anche sulla valorizzazione degli scarti derivati dalle stesse. Inoltre, la possibilità di sviluppare coltivazioni energetiche non alimentari può permettere in alcune aree del Paese di coltivare nuovamente terreni marginali, grazie allo sviluppo delle bioraffinerie, ai biocarburanti avanzati e soprattutto alla sfida futura del biometano.

**Approfittiamo della sua cortesia per anticipare temi al centro dei prossimi inserti in vista di Expo 2015.**

**Abbiamo produzioni di cui siamo esportatori netti ed altre che coprono solo una percentuale della domanda interna (prevalentemente olio di oliva e cereali), ma che caratterizzano la qualità del Made in Italy e che presumibilmente vedranno crescere la domanda estera. In che modo conciliare il fabbisogno di materie prime dell’industria alimentare italiana con l’offerta nazionale?**

Dobbiamo ovviamente in primo luogo aumentare la produzione perché si esporta tendenzialmente ciò che non si colloca sul mercato interno: non a caso i due prodotti che esportiamo maggiormente, l’ortofrutta ed il vino sono quelli per i quali abbiamo un tasso di auto approvvigionamento superiore al nostro fabbisogno. Il ‘made in Italy’ vende e molto all’estero, ma sarebbe opportuno eliminare il percorso pieno di ostacoli ed handicap che trova sul suo cammino. In base alla ricerca affidata a Nomisma risulta, ad esempio, che per l’espletamento dell’iter burocratico per l’export via nave di un prodotto agroalimentare italiano servono ben 19 giorni, contro i 9 giorni della Germania e i 10 necessari agli operatori francesi e spagnoli. Dico questo per sottolineare che il Paese deve ripartire dall’agroalimentare, con una visione nuova e strategica di un settore “nevralgico”, che ha tenuto, nonostante la crisi, e che dà un significativo contributo alla formazione della ricchezza prodotta dal Paese con quasi il 10% di valore aggiunto sul totale del PIL (il 15% considerando l’indotto).

**I mercati nazionale ed esteri non sono gli unici driver per determinare scelte produttive nel settore agricolo, a suo parere quale ruolo ha avuto e avrà la PAC per le prospettive dell'agricoltura italiana?**

La Politica agricola comunitaria da oltre 50 anni è essenziale nel determinare le prospettive della nostra agricoltura. Abbiamo parlato di mercato unico nel nostro settore decenni prima della creazione del mercato unico comunitario dei beni e servizi. Abbiamo avuto una moneta unica (l'ECU verde) ben prima dell'euro. E poi non dimentichiamo che, nonostante le continue riduzioni, la spesa agricola comunitaria per il nostro Paese assomma a circa 7 miliardi l'anno tra primo e secondo pilastro; quasi un quarto del valore aggiunto del settore. Certo negli ultimi anni, in particolare dall'introduzione del disaccoppiamento, abbiamo perso quel valore di indirizzo per le produzioni che la PAC storicamente aveva. Così, con la globalizzazione e l'apertura dei mercati, praticamente non c'è alcuna possibilità o quasi di intervenire sui flussi di prodotto in entrata ed in uscita dal mercato unico europeo. Nei prossimi anni i pagamenti diretti a favore degli agricoltori costituiranno solo un incentivo minimo che remunera (in maniera inadeguata a nostro avviso) la loro attività multifunzionale a vantaggio della collettività. Una porzione di pagamenti, quelli ancora "accoppiati", serviranno ad incentivare particolari filiere strategiche ed in difficoltà; uno strumento essenziale che però è molto limitato e sul quale anzi l'Italia ha scelto – erroneamente a nostro avviso - di non voler puntare sino in fondo, visto che abbiamo preferito non attivare tutte le risorse potenzialmente disponibili (il 13+2 per cento del budget finanziario totale per i pagamenti diretti; ci siamo fermati all'11 per cento del totale).

Non deve però sfuggirci il resto della politica agricola comune: le regole di mercato, per l'aggregazione, per intervenire in caso di crisi, per programmare le produzioni; e poi i circa tre miliardi di euro l'anno di sviluppo rurale che possono essere utilizzati per incentivare gli investimenti delle imprese e delle filiere, per il ringiovanimento della classe imprenditoriale agricola, per la ricerca e l'introduzione delle innovazioni, per favorire l'organizzazione economica e, per la prima volta dal 2015, per gli strumenti finalizzati alla gestione del rischio. Un tool box essenziale e completo che può essere importantissimo; a patto però che sia usato bene: tenendo conto delle esigenze delle imprese e delle sfide che abbiamo di fronte come settore, come Paese e anche come pianeta. Non sono pochi infatti i millenium goal incentrati sulla produzione agricola.

**Si va sempre più polarizzando il dibattito tra chi ritiene che gli approvvigionamenti alimentari dovrebbero privilegiare un approccio local e istanze che praticano ampiamente quello global. Lei cosa pensa al riguardo? Qual è l'approccio ragionevole in termini di crescita e sviluppo per questo settore in Italia?**

Le due posizioni non sono in contrapposizione ma fanno parte della libera scelta imprenditoriale e del consumatore. Guai se non lo fosse. Attribuire all'una o all'altra meriti etici, ambientali o economici limita questa scelta che invece deve essere tutelata.

In tale contesto le varie filiere agroalimentari hanno grandi responsabilità: devono individuare, nel dialogo e nella concertazione, le scelte strategiche da compiere per conquistare porzioni sempre più consistenti di mercato. Non c'è contrapposizione tra "filiera corte", di "qualità", "convenzionali", "biologiche" e "integrate"; il vero tema riguarda l'organizzazione per imporsi sui mercati, quello interno e quello globale, e la coscienza che occorre operare traguardando sempre più gli obiettivi di sostenibilità economica, ambientale e sociale.

La questione fondamentale non è imporre lo slogan del "Chilometro zero" dettando al consumatore scelte senza alcun valore reale visto che poi tutti consumiamo prodotti stagionali che arrivano da diverse parti dell'Italia. Senza contare peraltro che oggi, in un mondo e in un mercato ormai globalizzato, occorre dare la possibilità ai produttori agricoli di tutto il pianeta di poter far conoscere agli altri Paesi le proprie peculiarità agroalimentari. Se non fosse così il nostro "Made in Italy" non lo avrebbe conosciuto nessuno.

Il vero problema sia per motivi economici che ambientali è accorciare la filiera il più possibile. Si possono distribuire prodotti che vengono da lontano, ma l'accorciamento della filiera fa sì che il prodotto sia di qualità e remunerativo per chi compra e chi produce.

**Cosa vi aspettate dalla ricerca scientifica e tecnologica per il settore agricolo? Sono numerosi gli esempi di partnership pubblico privato in tema di innovazione e di sicurezza alimentare?**

Una delle sfide che abbiamo davanti è quella di produrre più cibo per tutti e "nutrire il pianeta", tema di Expo 2015, e sempre in modo più sostenibile. Per far questo abbiamo bisogno di maggiore tecnologia ed innovazione. Anche ad esempio per aumentare le rese. Dal 1960 al 2000 l'aumento medio per anno della resa media di produzione dei cereali è passato da 3,2% a 1,5%. La produttività aumenta ma a tassi sempre minori

e questo non è in linea con gli obiettivi di crescita che ci siamo dati.

Per tali motivi dobbiamo cogliere l'importanza di investire in ricerca applicata all'agricoltura e alla bioeconomia perché la spesa in ricerca agricola ha una alta efficienza: è stato calcolato (fonte Commissione europea – modello Nemesis) che ogni euro investito oggi in ricerca genererà 10 euro di valore aggiunto entro il 2025.

A supporto di tali esigenze, ci sono gli incentivi europei per lo sviluppo rurale, con circa 3 miliardi di euro per anno con azioni specifiche proprio sulla cooperazione, in cui un'attenzione particolare è dedicata allo sviluppo di nuovi prodotti, pratiche, processi e tecnologie nel settore agroalimentare e in quello forestale. E quelli per lo sviluppo di ricerca e innovazione con il programma Horizon 2020 sui quali dobbiamo imparare a puntare di più.

La verità difatti è che captiamo poco queste risorse e in generale il nostro Paese spende relativamente meno per incentivare la ricerca rispetto ai partner europei; l'Italia ha come obiettivo per "Europa 2020" quello di spendere l'1,53% del PIL in R&I, mentre non pochi Pa-

esi hanno scelto di spendere il 3% del loro PIL, praticamente il doppio.

In tal senso è positiva l'iniziativa del Ministero delle Politiche Agricole Alimentari e Forestali che qualche mese fa ha stilato un Piano per la ricerca e l'innovazione in agricoltura che per la prima volta ha tracciato comparto per comparto una mappa dei fabbisogni e un percorso da imboccare, indicando le relative priorità per collegare l'attività di ricerca al fabbisogno delle imprese.

Inoltre, un supporto in questa direzione lo stanno dando e lo daranno sempre più le reti di impresa, istituto innovativo del nostro sistema produttivo che realizza un modello di collaborazione tra imprese che consente, pur mantenendo la propria indipendenza, autonomia e specialità, di realizzare progetti e obiettivi condivisi nell'ottica di incrementare la capacità innovativa e la competitività sul mercato. Esigenza che è stata già colta dal settore agricolo attraverso diverse iniziative in rete con il sistema agroindustriale e il mondo della ricerca per promuovere l'innovazione di prodotto e di processo e di filiera, anche con approfondimenti tematici in specifici progetti con primari gruppi industriali.



## Ridurre il degrado delle terre: cambiamenti climatici e misure di adattamento

M. Sciortino

Il degrado del territorio e la desertificazione costituiscono una grave minaccia per la sostenibilità delle produzioni alimentari in molte aree della Terra. Le modalità di gestione degli ecosistemi ed i concomitanti effetti dei cambiamenti climatici stanno alterando i processi fisici, chimici e biologici che regolano il complesso equilibrio degli ecosistemi terrestri e del suolo soprattutto nelle aree climaticamente caratterizzate da condizioni aride, semi-aride e sub umide secche.

La Conferenza RIO+20 ha riconosciuto i rischi della desertificazione ed ha proposto per l'agenda post 2015 l'obiettivo di un mondo "Land Degradation Neutral".

I cambiamenti climatici potranno provocare, in Italia e nell'area Mediterranea, l'intensificazione dei seguenti

processi di degrado del territorio:

- incremento dell'aridità e della siccità;
- aumento dell'intensità delle precipitazioni e conseguente incremento dell'erosione idrica;
- diminuzione del Contenuto di Sostanza Organica nel suolo;
- aumento della salinizzazione nelle aree irrigue con produzioni di alto valore economico, nonché in quelle costiere per intrusione del cuneo salino;
- aumento degli incendi.

La Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla Desertificazione (UNCCD) e la FAO stimano che a livello globale il 24% delle terre emerse sta subendo un processo di riduzione della produttività. Le aree attualmen-

te più sensibili alla desertificazione sono quelle caratterizzate da condizioni climatiche secche, ecosistemi con bassa produttività biologica e suoli fragili. In Italia tutte le Regioni hanno aree sensibili al degrado, ma con gradi d'intensità ed estensione diversi. Le Regioni con una percentuale di territorio "molto sensibile" superiore alla media nazionale sono Basilicata, Marche, Molise, Sicilia, Sardegna, Puglia ed Emilia Romagna. Le variazioni degli indici di vegetazione, stimati in base all'elaborazione di dati dei satelliti MODIS, indicano che dal 2000 al 2013 si riscontra in Italia una riduzione della produttività di biomassa in molte aree del Nord e del centro Italia, mentre al Sud e nelle isole si riscontra un incremento dovuto anche all'abbandono del territorio stesso. Sebbene un periodo di osservazione di soli 14 anni sia statisticamente insufficiente per una diagnosi accurata, si riscontra che nella situazione attuale la combinazione di stress climatici ed antropici è maggiore nelle aree sinora considerate meno sensibili.

In futuro la desertificazione e il degrado saranno determinati sia dai cambiamenti climatici, lenti ma progressivi, sia dall'intensificazione degli eventi estremi; entrambi questi fattori potranno modificare l'uso del territorio e mettere a rischio la sostenibilità delle attività produttive che maggiormente dipendono dalla disponibilità delle risorse naturali.

La progressiva riduzione e il deterioramento delle riserve idriche in Italia costituisce un effetto di degrado di cui peraltro non esiste ancora un quadro conoscitivo esaustivo. La principale strategia di riduzione della vulnerabilità alla desertificazione e di adattamento agli impatti dei cambiamenti climatici è costituita, a livello nazionale, dall'attuazione delle misure previste dal Programma di Azione Nazionale e, a livello globale, dall'attuazione della Strategia della Convenzione delle Nazioni Unite per la Lotta alla Desertificazione. Misure specifiche di carattere agronomico, forestale, civile e sociale per la

protezione del suolo, la gestione sostenibile delle risorse idriche, la riduzione dell'impatto delle attività produttive, e il riequilibrio del territorio per lottare contro la desertificazione ed il degrado, devono essere sempre elaborate in sinergia con i principi di conservazione della biodiversità e di adattamento e mitigazione dei cambiamenti climatici.

L'ENEA ha contribuito all'elaborazione del Programma di Azione Nazionale e continua a fornire il necessario supporto tecnico-scientifico alle attività di attuazione della UNCCD in Italia, partecipando attivamente alle attività del Comitato per la Scienza e la Tecnologia e alla predisposizione dei rapporti nazionali sullo stato di attuazione della Convenzione. A livello scientifico - in collaborazione con il World Food Programme - il Laboratorio Modellistica Climatica e Impatti dell'Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale e l'Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agro-Industriale hanno realizzato attività nell'ambito dei progetti EU-FP7 Impact2C e Euporias, con l'obiettivo di integrare le attività di modellistica climatica a scala sub-continentale con gli strumenti di allerta precoce per la sicurezza alimentare in Africa. La modellistica sviluppata in ENEA ha fornito un importante supporto alle decisioni che le organizzazioni internazionali hanno assunto a salvaguardia del benessere delle popolazioni in Africa. La sfida dell'adattamento ai cambiamenti climatici richiederà un sempre maggior coinvolgimento della ricerca scientifica a supporto della conservazione e dell'utilizzo delle risorse naturali sia in Italia che in tutti i contesti dove la sfida della sostenibilità dello sviluppo è più urgente.

*Per approfondimenti:  
maurizio.sciortino@enea.it*

**Maurizio Sciortino**  
ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale,  
Laboratorio Modellistica Climatica e Impatti



## Strategie adeguate per combattere il cambiamento climatico

**IMPACT2C - Quantifying projected impacts under 2 °C warming**

**Progetto finanziato nell'ambito del 7° Programma Quadro R&S Ambiente dell'Unione Europea**

Tra il 2030 e il 2050 la temperatura terrestre potrebbe aumentare di 2 °C rispetto ai livelli dell'epoca pre-industriale. In Europa questo fenomeno potrebbe manifestarsi ancor prima, probabilmente con un impatto diverso tra il Nord e il Sud del continente: periodi di siccità più intensi in estate nella fascia mediterranea e, di contro, un aumento delle precipitazioni in inverno in Scandinavia e nelle isole britanniche. Quali saranno le conseguenze nella aree più vulnerabili del pianeta e quali opzioni di adattamento abbiamo a disposizione?

In questo progetto europeo integrato di grandi dimensioni, che raccoglie esperti di circa 30 centri di ricerca internazionali, tra cui l'ENEA, gli scienziati utilizzano un'accurata modellistica climatica settoriale e cross-settoriale, in grado di fornire dati, valutazioni e scenari sugli impatti, sui rischi e sui possibili costi/benefici su scala paneuropea. L'utilizzo di questi specifici modelli climatici consente di considerare in un unico quadro logico settori chiave diversi quali l'energia, le infrastrutture, le coste, l'acqua, l'agricoltura, la silvicoltura, gli ecosistemi, la salute, la qualità dell'aria, il turismo.

Per meglio realizzare l'ambizioso obiettivo di sviluppare una combinazione ottimale di strategie di risposta, il progetto sviluppa alcuni significativi casi di studio relativi a zone del mondo particolarmente vulnerabili quali il Bangladesh, l'Africa (particolarmente Africa settentrionale e Africa sub-sahariana, i bacini del Nilo e del Niger) e le Maldive.

I ricercatori dell'ENEA sono pienamente coinvolti nelle attività di modellistica climatica e di valutazione degli impatti previsti dal progetto e coordinano il case-study relativo alla vulnerabilità del continente africano. Gli esperti ENEA valutano gli impatti climatici sulle risorse idriche, sulla vegetazione, sulla produttività agricola, sul flusso dei fiumi, e cercano di indicare le soluzioni tecnologiche e di governance migliori, da adottare anche in caso di situazioni di emergenza.

*Per approfondimenti:* <http://impact2c.hzg.de/>

## La climatologia esce dal laboratorio

**EUPORIAS - European Provision of Region Impact Assessment on a Seasonal-to-decadal timescale**

**Progetto finanziato nell'ambito del 7° Programma Quadro R&S Ambiente dell'Unione Europea**

La disponibilità di previsioni climatiche attendibili a medio termine può contribuire a ridurre la vulnerabilità dai rischi derivanti dal cambiamento climatico di importanti settori economici, quali la gestione delle risorse idriche, l'agricoltura, la gestione delle foreste, l'energia, i trasporti, il turismo.

L'obiettivo di questo progetto, che si inserisce all'interno dell'iniziativa ECOMS (European Climate Observation and Modelling for Services) è migliorare la fruibilità delle previsioni stagionali e decadali attraverso lo sviluppo di prototipi funzionanti di servizi climatici, tarati sulle necessità di particolari categorie di utenti, tipicamente decisori politici, autorità di governo, imprenditori, ma anche singoli cittadini. Euporias è, pertanto, un esempio di come il rapporto tra scienza e società stia cambiando.

Più nel dettaglio, le attività progettuali mirano a:

- sviluppare e fornire un sistema di previsione di impatto affidabile per alcuni prototipi di servizio. Questi forniranno esempi operativi di servizi 'end-to-end' di valutazione climatica e di impatto operanti su scala Stagionale e Decadale (S2D);
- valutare i gap nelle conoscenze fondamentali e le vulnerabilità di settori importanti sensibili alle variazioni climatiche (ad esempio, acqua, energia, trasporti, sicurezza alimentare, salute ecc.), insieme con le esigenze di utenti specifici;
- sviluppare una serie di strumenti standard e tecniche per la calibrazione, *downscaling* e modellazione settore-specifica di impatto, su scale temporali S2D;
- sviluppare un protocollo di condivisione delle conoscenze per promuovere l'uso di queste tecnologie;
- valutare l'attuale commerciabilità dei servizi climatici in Europa.

Insieme ad altri 21 partner provenienti da tutta Europa, al World Food Programme e alla World Health Organization, l'ENEA partecipa al progetto coordinato dal MET Office, il servizio meteorologico britannico. In particolare, il Laboratorio Modellistica Climatica e Impatti dell'Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale dell'ENEA è impegnato nella definizione delle vulnerabilità e delle esigenze di diversi settori produttivi e nella modellazione di strumenti di previsione stagionali a supporto delle attività di programmazione nella gestione dei rischi climatici connessi con la produzione agricola in aree vulnerabili (Etiopia) e con la produzione/consumo di energia da fonti rinnovabili.

*Per approfondimenti:* <http://www.euporias.eu/>

# La riduzione degli usi competitivi dei suoli agricoli

N. Colonna, V. Pignatelli

In un mondo che consuma risorse naturali a ritmi sempre crescenti, quelle disponibili e non rinnovabili devono essere impiegate in modo efficiente al fine di soddisfare le necessità primarie (acqua, cibo ed energia) del maggior numero possibile di persone.

I suoli agricoli sono un bene limitato e prezioso e, anche se in alcune regioni del pianeta vi sono ancora margini per aumentare le superfici coltivate, la disponibilità e la conservazione di suoli fertili per la produzione di cibo è un problema prioritario nell'agenda delle grandi agenzie internazionali. I suoli sono infatti soggetti ad una crescente competizione d'uso tra settori economici differenti e sono divenuti oggetto di acquisizioni su larga scala, soprattutto in alcuni paesi in via di sviluppo, da parte di grandi compagnie o dei governi di altri paesi.

I processi di urbanizzazione, la richiesta di terre per usi non alimentari, in particolare la produzione di biocarburanti, e il degrado della fertilità dei suoli per fenomeni di inquinamento, salinizzazione, erosione o eccessivo sfruttamento causano una significativa compromissione del potenziale di produzione primaria del nostro pianeta.

Un problema così ampio e complesso, diffuso in tante aree del pianeta, non ha soluzioni semplici ed agire sulle determinanti economiche primarie che lo causano è oggetto di dispute internazionali.

In questo contesto, la ricerca sperimenta o cerca di individuare soluzioni tese a mitigare il problema e diminuire la crescente richiesta d'uso delle terre per usi non direttamente legati alla produzione di cibo. In particolare negli ultimi anni l'attenzione si è concentrata sul conflitto tra usi *food* e *non food*, amplificato dalle politiche internazionali tese a promuovere alcune tecnologie energetiche, ed in particolare le bioenergie, e dalle dinamiche dei prezzi di alcune *commodities* agricole che hanno raggiunto valori tali da provocare diffuse proteste sociali per l'aumento dei prezzi di generi di prima necessità.

In ENEA il contributo di ricerca su tali temi si è focalizzato su almeno tre linee principali, che possiamo far

rientrare nelle cosiddette azioni di mitigazione:

- valutare e sperimentare colture alternative alle tradizionali colture energetiche, più efficienti ed idonee alla coltivazione su terreni marginali e sviluppare tecnologie per la produzione di biocarburanti di seconda e terza generazione da biomasse lignocellulosiche e/o colture dedicate non convenzionali;
- efficientare le filiere bioenergetiche attuali attraverso azioni di "innovazione incrementale" finalizzate a migliorare le rese, i bilanci energetici e l'impatto ambientale dei singoli passaggi lungo tutto la filiera di produzione, raccolta e trasformazione delle materie prime;
- valorizzare biomasse residuali delle produzioni agricole, forestali e zootecniche e delle industrie agroalimentari per la produzione di vettori energetici (biocombustibili e biocarburanti) adatti alla produzione sia di energia elettrica e calore (cogenerazione e/o riscaldamento domestico e collettivo) che di carburanti rinnovabili per il settore dei trasporti.

La gran parte di queste ricerche sono condotte nei Centri ENEA della Casaccia e della Trisaia, nell'ambito di specifici progetti sia nazionali che europei, cercando di dare risposta alle esigenze del sistema agroindustriale e ai problemi specifici del nostro Paese.

Ognuna di esse risponde in modo diverso all'esigenza di diminuire la domanda di terreni agricoli per finalità energetiche o aumentando l'efficienza dei processi, o impiegando substrati alternativi alle cosiddette colture dedicate.

Sulla prima linea la ricerca di colture alternative ha visto da tempo l'ENEA impegnata nella sperimentazione di colture poliennali ad alta produttività e che necessitano di bassi livelli di intensificazione colturale per produrre biomasse idonee, a seconda della tipologia, sia alla produzione di biogas e/o etanolo, perché particolarmente ricche in zuccheri fermentabili (topinambur), sia alla combustione o, in prospettiva, alla produzione di biocarburanti di seconda generazione con processi innovativi di conversione della biomassa lignocellulosica (miscanto, panico, cardo).

Più recentemente, sono stati avviati studi sulla produzione di biomasse per usi energetici e non da colture di microalghe che, per la loro elevata produttività potenziale e la possibilità di coltivazione in aree non utilizzabili per le colture alimentari, sono considerate di grande interesse anche dalle nuove normative europee sulle energie rinnovabili di prossima emanazione (la cosiddetta "Direttiva ILUC").

Sulla seconda linea la ricerca si concentra sui diversi processi e tecnologie delle filiere bioenergetiche, sviluppando innovazioni che aumentino l'efficienza di trasformazione delle biomasse in vettori energetici e diminuendo così la quantità di materia prima necessaria per unità energetica prodotta. In questa direzione vanno, ad esempio, le attività condotte dall'ENEA nell'ambito della Ricerca di Sistema Elettrico sui processi di digestione anaerobica per la produzione di biogas con un più elevato contenuto in metano e miscele di metano e idrogeno, su tecnologie innovative per la conversione del biogas in biometano e su nuovi sistemi di cogenerazione ad alta temperatura basati sull'impiego di sali fusi.

Da ultimo, i ricercatori ENEA sono impegnati a sviluppare metodi, protocolli e modelli per valorizzare al meglio i residui agroindustriali trasformandoli da scarti a risorsa ed estraendone valore aggiunto in cascata, dal recupero di biomolecole di interesse della cosiddetta "Chimica Verde", fino all'impiego energetico. In tal modo si può trasformare uno scarto, che ha un costo di gestione o di smaltimento, in una materia prima di altri processi produttivi. Un esempio di tutto questo è dato da un recente progetto di ricerca europeo (GRAIL) che vede l'ENEA impegnato in attività di ricerca e sviluppo tecnologico sulla produzione di biocarburanti di nuova generazione da glicerolo, sottoprodotto dell'industria del biodiesel di difficile collocazione sul mercato, nell'ottica della realizzazione di un nuovo modello di "bioraffineria".

L'ENEA è anche impegnata in azioni di tipo orizzontale tese a promuovere, attraverso progetti europei e nazionali, quelle filiere e quei modelli di sviluppo delle filiere bioenergetiche ove le produzioni *food* e *non food* si integrano funzionalmente, ad esempio alternandosi negli avvicendamenti colturali, o l'introduzione, a livello di azienda agricola, di tecnologie che, valorizzando scarti e residui delle colture e/o degli allevamenti, permettono il raggiungimento dell'autosufficienza energetica dell'azienda stessa.

La ricerca, che in questi campi ha pochi anni di storia ed in cui l'ENEA si è impegnato sin dagli anni '80, può sicuramente offrire una risposta, pur se parziale, al

problema dell'eccessivo uso di terreni a fini energetici, anche se nel nostro Paese le superfici effettivamente dedicate ad usi *non food* hanno sino ad oggi rappresentato una quota molto esigua (circa 200.000 ha) della superficie agricola utilizzata, a fronte di una riduzione di questa superficie che, a partire dagli anni '70, è stata stimata in più di 5 milioni di ha. Il tema assume invece un impatto significativo e preoccupante in altri Paesi, con una grande attenzione internazionale su come sviluppare positivamente l'interconnessione tra gli obiettivi energetico climatici e la produzione di cibo, evitando possibili conflitti e contribuendo allo sviluppo economico e al miglioramento generale delle condizioni di vita delle popolazioni interessate.

Per approfondimenti:  
nicola.colonna@enea.it  
vito.pignatelli@enea.it

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

**Vito Pignatelli**  
ENEA, Unità Tecnica Fonti Rinnovabili

## Impianto pilota di digestione anaerobica

L'impianto, installato presso il Centro Ricerche ENEA della Trisaia, permette lo sviluppo di processi per il recupero di energia sotto forma di biogas.

È attrezzato per il processamento di residui organici semisolidi con un reattore di tipo plug-flow, inclinato e riscaldato, di 1,3 m<sup>3</sup>, in grado di trattare residui con un contenuto in solidi anche pari al 20%.

Referente: Pietro Garzone  
pietro.garzone@enea.it



# La pianificazione energetica territoriale

N. Colonna, M. Marani, R. Roberto

La pianificazione energetica è uno strumento d'azione nelle mani delle Pubbliche Amministrazioni riconosciuto di assoluta importanza per coinvolgere attivamente le comunità locali nel percorso verso la sostenibilità energetica, attraverso la programmazione di azioni locali che migliorino l'efficienza energetica, aumentino il ricorso alle fonti rinnovabili, stimolino il risparmio energetico e l'uso razionale dell'energia.

Preliminare ad ogni azione di pianificazione è la conoscenza del territorio e delle sue risorse, così come dei vincoli legati ad usi alternativi o ai valori intrinseci (terreni agricoli, parchi, aree archeologiche, beni culturali ecc.). Un aspetto di primaria rilevanza è la necessità di pianificare lo sviluppo e l'installazione di impianti per la produzione di energia in modo da non confliggere con la destinazione ad uso agricolo dei territori e con le colture ad uso alimentare.

In ambito energetico ed ambientale la conoscenza del territorio deve quindi necessariamente spaziare dagli aspetti morfologici e orografici a quelli antropici e biologici e gli strumenti di programmazione energetica devono integrarsi con gli altri strumenti più generali di governo del territorio, che sono capaci di incidere direttamente sulle trasformazioni fisiche apponendo veri e propri vincoli, quali i piani urbanistici e paesistici e quelli della qualità dell'aria.

Energia e Territorio sono facce della stessa medaglia, e necessitano di una sempre maggiore correlazione ed interazione tra pianificazione energetica, agricola e piani territoriali e urbanistici.

La messa a sistema di tutte le informazioni territoriali e dei diversi Piani (regionali, provinciali, comunali) ha assunto un rilievo strategico con l'aumento dell'utilizzo di fonti di energia rinnovabile. Esse sono per loro natura distribuite sul territorio e gli impianti devono essere collocati senza interferire con i valori o i vincoli del territorio stesso ed in modo ottimale in relazione alla disponibilità spaziale delle "fonti" sole, vento, acqua, calore geotermico, biomasse e/o in relazione alla domanda di energia da soddisfare, senza sottrarre terreni ad alto valore per la produzione agricola.

In Italia sono ad oggi presenti oltre 400.000 impianti fotovoltaici e diverse migliaia di impianti eolici e a biomasse che hanno profondamente modificato il paesaggio di alcune regioni, sollevando spesso conflitti a livello locale sulla loro installazione. La transizione dalla produzione energetica centralizzata a quella distribuita ha imposto di ripensare profondamente gli strumenti e i metodi di pianificazione. D'altra parte gli impegni ambientali siglati in ambito internazionale hanno obbligato ad integrare le classiche analisi domanda-offerta di energia con gli aspetti ambientali e territoriali. Aspetti che talvolta impongono una negoziazione locale con chi sul territorio opera e produce ed in particolare con la componente agricola ed agroalimentare.

L'ENEA opera in questo ambito supportando le Regioni e le comunità locali nell'analisi e valutazione delle risorse e delle potenzialità delle rinnovabili e sviluppando diversi strumenti di supporto alla pianificazione, quali ad esempio i Sistemi informativi territoriali (SIT) dedicati, al fine di realizzare analisi spaziali delle risorse integrate con vincoli d'uso per l'identificazione delle aree più idonee alla collocazione degli impianti. Gli stessi strumenti possono essere utilizzati al fine di valutare l'impatto ambientale degli strumenti di Piano. Il passaggio dalla conoscenza alla Pianificazione richiede poi la capacità di identificare e valutare le alternative di Piano e di misurarne gli effetti in ambito energetico, economico ed ambientale. L'ENEA opera anche in questo ambito con strumenti di analisi di scenario per valutare le ricadute sia economiche che occupazionali ed ambientali delle scelte e fornire indicazioni utili per la pianificazione delle politiche energetiche e delle misure di incentivazione.

In questo ambito alcune Unità Tecniche ENEA hanno lavorato alla definizione di strumenti per l'analisi spaziale delle risorse naturali sia a scala nazionale che locale e per analisi di potenziale di utilizzo delle risorse, tra cui ad esempio l'Atlante solare e l'Atlante delle biomasse, quest'ultimo dedicato alla quantificazione anche delle biomasse residuali utilizzabili per la produzione di energia. Per quanto riguarda gli strumenti

di ottimizzazione della collocazione degli impianti, si ricordano tra gli altri il modello BRUSA (per l'analisi della domanda-offerta delle biomasse legnose e dell'ottimizzazione del loro utilizzo - [www.renerfor.eu](http://www.renerfor.eu)) sviluppato dall'Unità Tecnica Tecnologie Saluggia in collaborazione con il Politecnico di Torino nell'ambito del Progetto INTERREG-ALCOTRA Rennerfor, e il progetto Be and Save (finalizzato alla ottimizzazione della localizzazione e gestione di impianti di cogenerazione a biogas da scarti alimentari) sviluppato dall'Unità Tecnica Sviluppo Sostenibile ed Innovazione del Sistema Agroindustriale nell'ambito del PON Regione Puglia. Sono inoltre stati sviluppati strumenti di analisi delle scelte di piano in relazione agli impatti sui cambiamenti climatici, tra cui si ricorda la metodologia CO<sub>2</sub>MPARE, sviluppata dall'Unità Tecnica Modellistica Energetica e Ambientale e dall'Unità Centrale Studi e Strategie insieme ad altri partner europei, per la valutazione dell'impatto di interventi di pianificazione in termini di CO<sub>2</sub> equivalente.

L'Unità Tecnica Efficienza Energetica è inoltre impegnata nel contribuire allo sviluppo di un sistema statistico energetico-economico (SIER) in grado di omogeneizzare la qualità dell'informazione e realizzare le condizioni per una sua ottimale utilizzazione. Il SIER è uno strumento di supporto alle Amministrazioni Regionali, che

permette l'acquisizione di un quadro conoscitivo della struttura energetica regionale e agevola la formulazione di una efficace pianificazione energetico-ambientale territoriale. Lo sviluppo di una metodologia consolidata e riconosciuta a livello nazionale e le informazioni contenute nella Base Dati consentono l'elaborazione dei Bilanci Energetici Regionali (BER), degli Indicatori di efficienza energetica e del Catasto delle emissioni.

L'insieme di questi strumenti costituisce il necessario supporto conoscitivo indispensabile alla definizione di scelte di piano corrette capaci di rendere evidenti ai decisori i potenziali effetti delle diverse ipotesi di sviluppo energetico. Negli ultimi anni alcuni di questi strumenti sono stati utilizzati sia per la pianificazione energetica a livello regionale (Emilia Romagna, Lazio, Puglia) sia in piani locali a livello di aree (Valle del Sacco) di Province e/o Comunità Montane.

*Per approfondimenti:*  
[nicola.colonna@enea.it](mailto:nicola.colonna@enea.it)  
[mauro.marani@enea.it](mailto:mauro.marani@enea.it)  
[roberta.roberto@enea.it](mailto:roberta.roberto@enea.it)

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

**Mauro Marani**  
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

**Roberta Roberto**  
ENEA, Unità Tecnica Tecnologie Saluggia



Impianto per la produzione di biogas realizzato dalla BTS Biogas

# Risanare i suoli mantenendone intatte le funzioni: obiettivo strategico per una bonifica sostenibile delle aree contaminate

A.R. Sprocati, C. Cremisini

La rilevanza assunta negli ultimi decenni dalla contaminazione del suolo, per livelli e per estensione spaziale, richiede una valutazione su scala di ecosistema con un approccio a livello di scenario reale, affinché sia possibile correlare esplicitamente il tipo e il grado di contaminazione con il rischio potenziale che essa rappresenta per altri comparti ambientali (principalmente l'acqua, ma implicitamente anche la biodiversità) e per le attività umane a questi connesse, tra le quali il sistema agro-alimentare è di peculiare rilevanza, per le dirette implicazioni sulla salute dell'uomo. Occorre poi tener conto delle differenze tra i fenomeni di inquinamento legati a eventi concentrati nel tempo e la contaminazione di tipo "cronico", dovuta ad attività inquinanti prolungate nel tempo e, in entrambi i casi, della possibilità di diffusione degli inquinanti da/a territori limitrofi. Coerentemente, anche la bonifica deve essere valutata a livello di ecosistema mediante un approccio basato sullo scenario reale.

I siti contaminati censiti si aggirano, tra Europa e Stati Uniti, attorno al milione e la problematica nella maggior parte dei casi riguarda i rifiuti pericolosi ed i contaminanti industriali, con le conseguenti ricadute sui costi ambientali, sociali, economici.

Nell'Unione Europea il suolo rappresenta una risorsa essenzialmente non rinnovabile, di circa 400 milioni di ettari, e il problema del suo degrado, stimato in circa 38 miliardi di euro all'anno, è oltretutto intensificato a causa dell'elevata densità di popolazione.

Il permanere dello stato di degrado dei suoli è palesemente in contraddizione e incompatibile con i criteri di sviluppo economico sostenibile, pertanto tra le priorità da considerare per garantire tale sviluppo in modo durevole deve essere inclusa l'adozione e la diffusione di tecnologie produttive pulite (processi e prodotti puliti,

incluse le pratiche agricole) e di tecnologie sostenibili per il ripristino degli ecosistemi.

Un caso interessante è quello delle aree minerarie ove le attività estrattive sono state abbandonate. Nella UE la superficie di suoli influenzati da attività minerarie, e quindi da metalli pesanti, è stata stimata pari allo 0,6% del totale, rispetto a una media mondiale dello 0,2%. La bonifica di queste aree è, quindi, un obiettivo strategico per le politiche europee.

L'estrazione e la lavorazione di minerali hanno prodotto grandi quantità di materiali di scarto con livelli di concentrazione di elementi tossici. Questo materiale di scarto rimane solitamente in-situ o adiacente al sito della lavorazione, in quanto la redditività economica di solito lo rende inadatto per lo smaltimento fuori sede. Questi cumuli di rifiuti minerari contaminati, prodotti in grande quantità dalla rivoluzione industriale, esistono, di fatto, come eredità nel nostro paesaggio, fornendo una fonte di contaminazione ambientale primaria, che continua anche molti anni dopo la fine della produzione industriale. La contaminazione ambientale avviene a causa di gravi errori (esempio: malfunzionamento dei sistemi di contenimento previsti) o in modo cronico, per rilascio di metalli attraverso lisciviazione, dispersione aerea o erosione dei metalli contenuti negli sterili o nei sedimenti contaminati. Questi contaminanti, attraverso l'idrodinamica del bacino di appartenenza, raggiungono anche le pianure alluvionali, che tendono ad essere utilizzate intensivamente per la produzione alimentare agricola, data l'elevata fertilità, con importanti implicazioni per la sicurezza alimentare e la salute umana. La presenza di metalli pesanti è pertanto ormai diffusa ed è rilevabile anche in comparti lontani dalla sorgente della contaminazione, frequentemente anche in suoli a uso agricolo, generando frequentemente il problema della co-contaminazione, laddove si vada a

sommare a una contaminazione di origine “organica”. I metalli pesanti (classe nella quale sono compresi elementi di elevata tossicità), come noto, sono inibitori della catena respiratoria nei microrganismi ed esercitano pertanto un’influenza negativa sull’attività metabolica del suolo, con ripercussioni su importanti parametri ecologici dell’ecosistema, quali la struttura e funzione della comunità microbica che incidono direttamente sulla capacità del riciclo degli elementi in natura. La tossicità dei metalli pesanti influenza quindi negativamente anche la “attenuazione naturale” cioè la capacità spontanea di riduzione della contaminazione presente in ambiente, attraverso la quale gli ecosistemi sono in grado di ripristinare un equilibrio ecologico. La possibilità di ridurre la contaminazione nel sito di origine e di contenere, di conseguenza, la dispersione nei comparti ad esso collegati, richiede la messa in atto misure e tecnologie che permettano, su scala di ecosistema, di garantire il recupero dell’uso del suolo, con un impatto positivo sui sistemi idrici a valle.

Il mantenimento delle superfici agricole oggi disponibili dipende, quindi, anche dalle misure che riusciamo a mettere in atto per mitigare la contaminazione di aree non utilizzate per l’agricoltura e arrestarne la diffusione alle aree limitrofe adibite ad uso agricolo.

Queste misure devono essere compatibili con la conservazione della qualità del suolo e, quindi, delle sue funzioni.

Le tecnologie di trattamento di tipo chimico-fisico, per

abbattere la contaminazione al livello limite restituiscono, nella generalità dei casi, un suolo sostanzialmente sterile dopo il trattamento: privato cioè delle sue funzioni di riciclo degli elementi in natura, funzione peculiarmente assoluta dai microrganismi e primaria per la sopravvivenza della vita sul Pianeta. Al momento, sebbene non sia ancora completamente matura, il biorisanamento è l’unica tecnologia in grado di risanare il suolo preservandone le funzioni.

Il rationale del biorisanamento si basa sul fatto che i microrganismi, responsabili per la degradazione dei contaminanti organici e per la trasformazione e detossificazione dei contaminanti inorganici, sono la forza motrice che guida l’attenuazione naturale, ossia la capacità di autodepurazione di un ecosistema. Tuttavia l’accumulo in ambiente di contaminanti tossici rimarca il fatto che i microrganismi, alle concentrazioni cui sono abitualmente presenti, sono insufficienti, da soli, a proteggere la biosfera dal flusso dell’inquinamento di origine antropica. Il loro potenziale metabolico può però essere catturato e tradotto in nuove strategie di risanamento. Tra le vie fattibili per attivare questo potenziale metabolico le più percorse sono due: la *biostimulation* (e tecniche affini), che agisce attraverso il cambiamento dei parametri chimico-fisici del suolo, quali nutrienti, pH, temperatura, ossigeno, donatori o accettori di elettroni ecc. e la *bioaugmentation*, che agisce attraverso un aggiustamento “di nicchia ecologica”, inoculando nel sistema microrganismi competenti per le funzioni metaboliche necessarie alla trasformazione degli inquinanti. Questo approccio offre una via per procurare al sistema microrganismi, autoctoni o alloctoni, in numero sufficiente per portare a termine la biodegradazione necessaria a smaltire il carico di contaminanti. Ciascuna via presenta una serie di punti a favore e critici, che ne hanno determinato benefici e insuccessi, per cui, prima di decidere il metodo più appropriato di intervento, sono necessari studi di fattibilità sito-specifici.

### Ripristinare preservando: un approccio vincente

Le esperienze sviluppate nel Centro Ricerche ENEA Casaccia sono state rivolte a due problematiche che costituiscono i principali colli di bottiglia per l’applicazione del biorisanamento: la presenza concomitante di inquinanti organici e metalli pesanti (co-contaminazione) e il risanamento di siti influenzati da attività minerarie (metalli pesanti). La *bioaugmentation* è stata scelta come strategia di intervento, mediante un approccio “*knowledge based*”, che si fonda su una sele-



Figura 1  
Prelievo in campo di carote indisturbate di suolo (ASTM Standard Guide)

zione razionale dell'inoculo, guidata da dati ecologici. I fallimenti della bioaugmentation riportati in letteratura sono, infatti, principalmente legati alla carenza di dati ecologici circa il destino e l'attività dei microrganismi inoculati e, se alloctoni, circa la relazione tra i microrganismi introdotti e le comunità microbiche indigene. La strategia applicata in ENEA parte dalla conoscenza della comunità microbica nativa del sistema da bonificare, individuando quali gruppi metabolici governano i principali flussi energetici, al fine di selezionare i gruppi funzionali che possono essere impiegati per potenziare le funzioni metaboliche necessarie per la bonifica. Nel caso in cui le funzioni metaboliche necessarie sono già presenti nella comunità microbica, semplicemente si potenzia la carica microbica delle specie che sono già parte dei principali gruppi metabolicamente attivi verso i contaminanti; nel caso contrario in cui non siano presenti nel sito microrganismi competenti, la diversità microbica viene incrementata attraverso l'introduzione di microrganismi metabolicamente competenti, scelti in modo di impattare il meno possibile la struttura della comunità nativa. La metodologia sperimentale impiegata si basa su un approccio polifasico che comprende la microbiologia classica, la biologia e l'ecologia molecolare (rRNA16/18S PCR, PCR-DGGE, t-RFLP, metagenomica ambientale), l'analisi fenotipica globale (BIOLOG™ System).

I sistemi sperimentali comprendono diverse scale, da quella di bancone al campo sperimentale e, in particolare, per gli studi preliminari vengono impiegati i Microcosmi terrestri [ASTM E1197-87(2004)] che, contrariamente alla piccola scala di laboratorio, sono rappresentativi dell'ecosistema sotto studio, su scala microbiologica e biochimica e permettono di estrapolare i risultati ottenuti direttamente al campo, evitando fallimenti (Figura 1).

La preparazione dell'inoculo praticata consiste nell'isolare le comunità microbiche direttamente dalla matrice contaminata, testare la presenza di metabolismo attivo o inducibile verso i contaminanti presenti e sviluppare formule microbiche "su misura" per le diverse situazioni. In questo modo, partendo dal progetto "Integrated Decontamination Technologies, DM MIUR n. 790 del 21/6/2004, D.Lgs. 297/1999, 2002-2006, è stata costituita una collezione di ceppi di laboratorio di interesse biotecnologico,"ENEA-Lilith", che, arricchita grazie a diversi progetti, ora comprende circa 500 ceppi originali *wild type*, che costituiscono una risorsa per la messa a punto di formule microbiche, impiegate per studi di co-contaminazione di gasolio e metalli pesanti in suoli industriali (Alisi *et al. Process Biochem.*, 2012,

47(11):1694-1655) e agricoli (Sprocati *et al., Environ. Sc. Poll. Res.*, 2014, 21(11):6939-51), ottenendo un abbattimento del 70-75% degli idrocarburi in presenza di metalli pesanti (zinco e piombo). Le formule microbiche così selezionate hanno dimostrato di essere in grado di sopravvivere e di innescare un processo che ha coinvolto il resto della comunità, attivandola lungo la catena biodegradativa del gasolio, sia nel caso di formule native che alloctone. L'approccio messo a punto è subito sembrato una via promettente verso il superamento di un grave fattore limitante del biorisanamento.

Per i siti minerari, nell'ambito del progetto UMBRELLA (UE-FP7- 226870), è stato sviluppato un approccio integrato per il risanamento del suolo attraverso processi bio-geologici, applicando il fitorisanamento assistito da microrganismi, per la regolazione della mobilità dei metalli su scala di ecosistema. Lo studio ha riguardato sei siti minerari per stabilire misure migliorative, economicamente efficienti e sostenibili, per la bonifica da metalli pesanti, in diverse regioni geografiche e climatiche d'Europa, su larga scala. L'obiettivo del progetto, quello di utilizzare il potenziale offerto dai microrganismi nativi per accelerare le attuali tecniche di fitorisanamento, è stato perseguito con un approccio di ricerca interdisciplinare nei settori della microbiologia, della fisiologia vegetale e della (idro)-geochimica, mirato allo studio dell'influenza microbica sui cicli biogeochimici dei metalli e dell'impatto



Figura 2  
Campo sperimentale di fitorisanamento assistito da microrganismi, allestito nel sito minerario di Ingurtosu (Cagliari), in località Valle degli Sterili

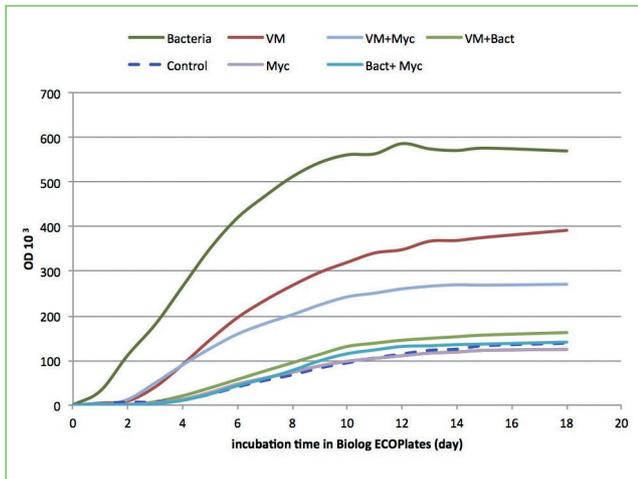


Figura 3  
Attività metabolica del suolo espressa nelle diverse condizioni sperimentali, rispetto al controllo (sole piante): +batteri, +ViroMine (VM), + micorrize (Myc) e loro combinazioni (dati relativi a due anni e mezzo dall'inizio della sperimentazione)

del loro impiego nella protezione del suolo e delle acque a livello di bacino. Il progetto ha individuato per ogni sito un insieme di “*toolbox*” (microrganismi e piante in associazione, approccio metodologico e modelli previsionali) da fornire agli utilizzatori finali della tecnologia per azioni di bonifica in situ, a basso costo e a basso impatto ambientale.

Per il sito italiano, situato nella miniera di Ingurtosu, in Sardegna (Figura 2), il *tool-box* individuato è rappresentato da una pianta pioniera endemica *Euphorbia pythiusa* e da un consorzio di batteri (Umbrella Ingurtosu) selezionati all'interno della comunità na-

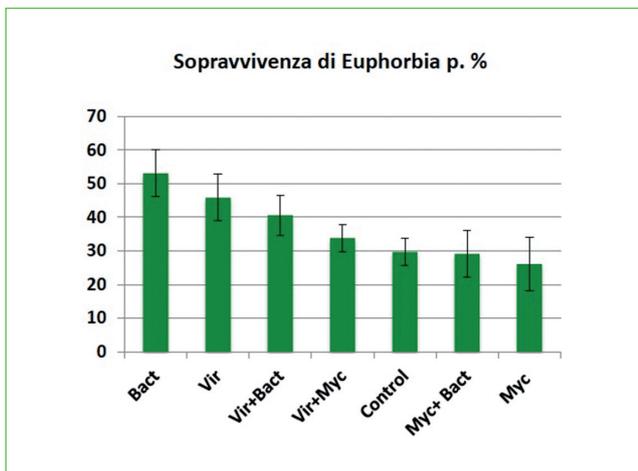


Figura 4  
Percentuale di sopravvivenza dei *Euphorbia p.* nel suolo arricchito di batteri (Bact) rispetto al controllo (Control) e al suolo arricchito di altri ammendanti (da soli o con batteri)

tiva, per capacità di promozione della crescita delle piante (PGP). I primi risultati della sperimentazione in campo [10 diverse condizioni, 27 plot di 2,5 x 2,5 m ciascuno], preceduta da una larga sperimentazione in serra, hanno dimostrato che *E. pythiusa* ha la capacità di assorbire metalli pesanti (metallofita) nella parte aerea della pianta, che l'introduzione di *E. pythiusa* migliora l'attività metabolica del suolo anche in assenza di *bioaugmentation*, ma che la presenza del consorzio microbico UI ha migliorato decisamente la qualità del suolo espandendone la diversità funzionale e specialmente l'affinità dei batteri per gli essudati plantari, a testimonianza dell'avvenuta associazione pianta-batteri.

A distanza di circa due anni e mezzo dall'inoculo, nelle porzioni di suolo dove è stata applicata la *bioaugmentation*, permane una attività metabolica del suolo nettamente migliore, sia come intensità che come diversità funzionale, in corrispondenza al miglior tasso di sopravvivenza delle piante (circa 60%) (Figure 3 e 4). La sperimentazione prosegue all'interno del progetto Cluster “Sviluppo di Metodologie per la progettazione di interventi di bioRimedio”, finanziato dalla Regione Sardegna e coordinato dall'Università di Cagliari. I più recenti sviluppi riguardano l'evoluzione del “*toolbox*”, realizzata attraverso l'arricchimento dell'associazione vegetale con piante di *Juncus acutus*, che rappresentano le vere e prime piante pioniere di quelle discariche e, inoltre, replicando la *bioaugmentation* con il consorzio originario arricchito con nuovi ceppi PGP, emersi per successione ecologica, in seguito all'introduzione di piante e batteri. Nella stessa attività sperimentale sono stati inoltre ottenuti interessanti risultati sia in ambito mineralogico (Sprocati *et al.*, *Am. Mineral.*, 2014, 99:1761-1766) che analitico-ambientale (Cremisini *et al.*, *J. Soil Sedim.*, 2010, 10:1115-1122). Nel primo caso è stata evidenziata la presenza di un nuovo minerale di origine biogenica e nell'altro è stato messo a punto a punto un efficace e rapido metodo analitico per la valutazione, in campo, della concentrazione e mobilità di elementi tossici, utile per la caratterizzazione dei suoli contaminati e per la verifica dell'efficacia della tecnologia di decontaminazione applicata.

Per approfondimenti:  
carlo.cremisini@enea.it  
annarosa.sprocati@enea.it

Carlo Cremisini, Anna Rosa Sprocati  
ENEA, Unità Tecnica Caratterizzazione,  
Prevenzione e Risanamento Ambientale

# Geomatica e Remote Sensing nella valutazione del potenziale fotovoltaico dei tetti per ridurre l'uso dei terreni agricoli

F. Borfecchia, E. Caiaffa, M. Pollino, L. De Cecco, L. La Porta, S. Martini

La valutazione degli impatti, potenziali e reali, della realizzazione di impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili in una moderna gestione del territorio deve privilegiare la valutazione della *landscape ecology*.

Al fine di evitare il consumo di suolo a discapito di aree agricole o naturali, si è favorito, negli ultimi tempi, un orientamento teso a privilegiare e supportare maggiormente la diffusione degli impianti fotovoltaici

(PV) installati (o inseriti) sui tetti degli edifici rispetto a quelli installati a terra.

L'ENEA è impegnata nello sviluppo e nella messa a punto di metodologie in grado di affiancare e integrare i processi decisionali che riguardano l'utilizzo del territorio per ciò che concerne le scelte per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

In particolare, in termini di pianificazione e controllo, assume un'importanza rilevante il poter effettuare

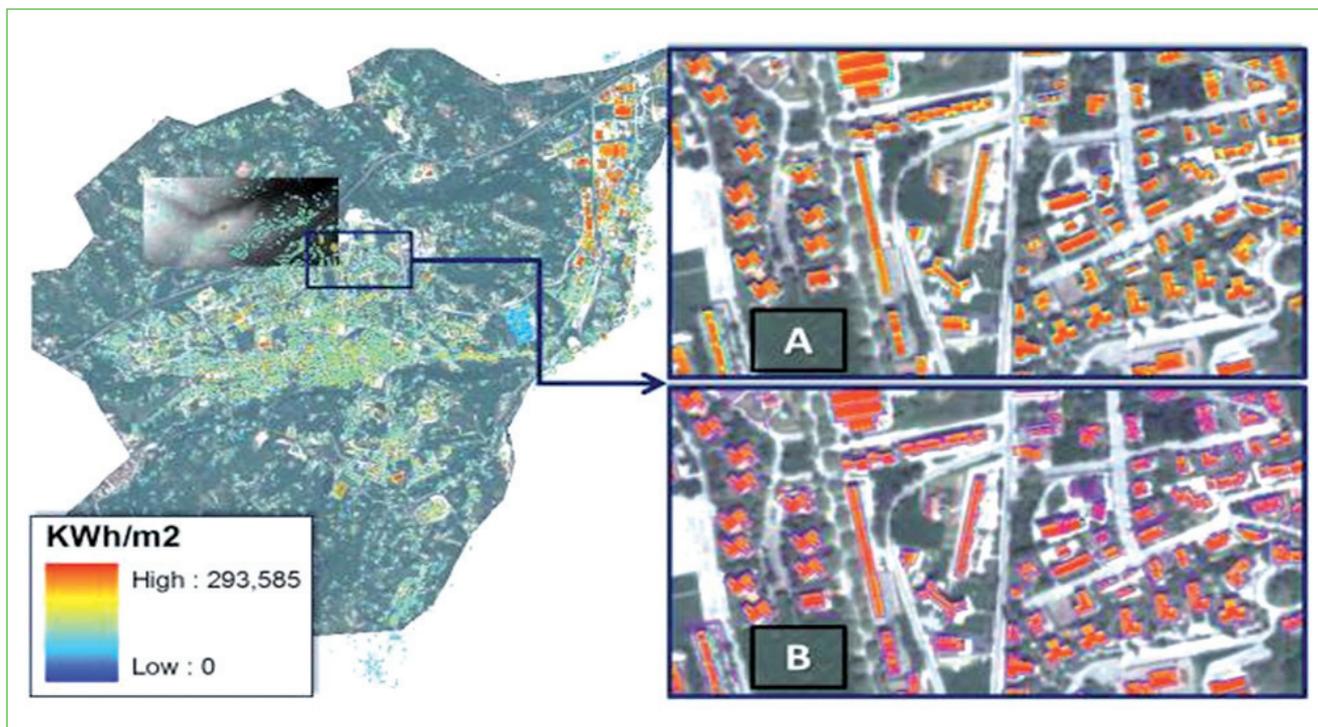


Figura 1  
Radiazione solare totale in kWh/m<sup>2</sup> calcolata per le coperture degli edifici ed infrastrutture del Comune di Avellino. A sinistra, elaborazioni di dettaglio per una sotto-area di studio  
Fonte: elaborazione ENEA

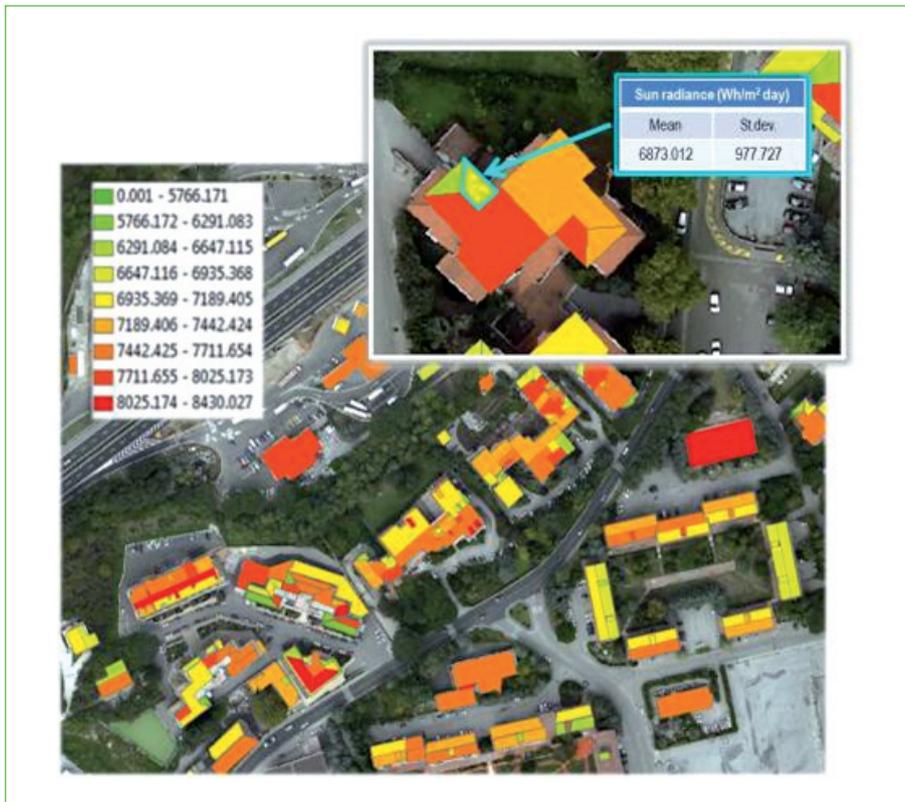


Figura 2  
 Mappa dettagliata della sotto-area campione, riportante il valore cumulato di radianza solare specifica per un giorno di luglio (valori in Wh/m<sup>2</sup>day) per ogni tetto estratto dal DSM e caratterizzato come poligonale GIS

Fonte: elaborazione ENEA

una stima estensiva ed efficace della disponibilità del potenziale PV e della superficie utile, relativa alle coperture esistenti di strutture residenziali, agglomerati urbani ed industriali. L'ENEA è impegnata nello studio e nella realizzazione di metodologie atte ad ottenere una mappatura del potenziale PV in aree urbane con l'uso di strumenti GIS. La geomatica offre infatti un contesto ideale in cui sviluppare metodologie basate sul calcolo della radianza solare, utilizzando i parametri di orientamento ed esposizione derivati dalle mappe di rilievo naturale come il Digital Elevation Model (DEM) o il Digital Terrain Model (DTM). La verifica sperimentale della metodologia è stata effettuata su una parte di urbano della città di Avellino poiché, per quella area, si disponeva di una serie di acquisizioni Light Detection and Ranging (LIDAR) ad adeguata risoluzione, nell'ottica di mettere in pratica la buona prassi del riutilizzo dei dati.

Per la caratterizzazione dell'urbanizzato si è fatto ri-

corso all'uso integrato di dati aerospaziali provenienti sia da rilievi di tipo LIDAR, da cui si è ottenuto il Digital Surface Model (DSM) per la ricostruzione 3D delle coperture di ogni edificio, sia da immagini multispettrali satellitari.

Partendo da dati LIDAR, è stato ottenuto in primo luogo il DSM di tutta l'area di interesse (~42 km<sup>2</sup>), quindi il modello tridimensionale di ogni edificio da cui sono stati derivati i parametri geometrici di tutte le coperture. Per tenere conto della trasparenza atmosferica e della percentuale di radiazione solare (diffusa/diretta) sulle superfici di interesse, sono stati utilizzati i dati e gli strumenti applicativi presenti sul sito web PVGIS (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>) unitamente a rilievi satellitari MODIS (MODerate resolution Image Spec-

trometer). L'elaborazione finale, basata sull'utilizzo di strumenti GIS anche di tipo open source, ha permesso di ottenere le mappe di radianza solare e di potenziale PV per tutti i tetti presenti nell'area di studio (Figure 1 e 2).

La Figura 2 mostra un esempio di prodotto finale, sotto forma di mappa tematica: tutte le superfici di copertura sono classificate in termini di radianza solare disponibile. La mappa tematica di Figura 2 può anche essere utilizzata nell'ambito di una specifica applicazione WebGIS, congiuntamente con i dati catastali dell'area urbana di interesse, quale efficace supporto alle attività di censimento, monitoraggio e pianificazione degli impianti PV su tetti.

Per approfondimenti: [emanuela.caiaffa@enea.it](mailto:emanuela.caiaffa@enea.it)

Flavio Borfecchia, Emanuela Caiaffa,  
 Maurizio Pollino, Luigi De Cecco, Luigi La Porta, Sandro Martini  
 ENEA, Unità Tecnica Modellistica Energetica Ambientale



**ENEA** per **EXPO**  
2015



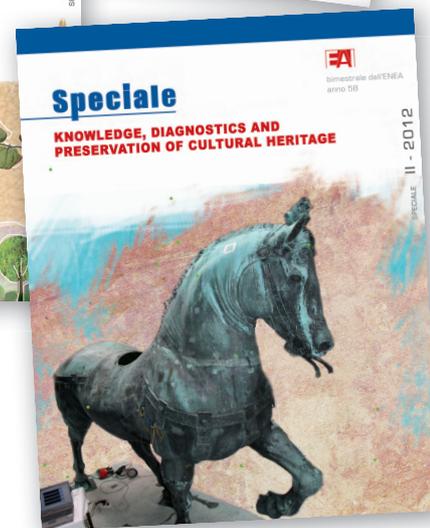
# Gli Speciali di Energia, Ambiente e Innovazione

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

*Sette gli Speciali finora pubblicati:*

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

Tutti gli Speciali sono disponibili online.



# Il costo dell'energia elettrica per le imprese italiane: un'analisi comparata a livello europeo

I costi sostenuti dalle imprese italiane per l'energia elettrica sono considerati uno dei principali fattori di freno all'espansione industriale e alla ripresa dell'economia del Paese. Sono molti i fattori che concorrono a rendere il prezzo della bolletta elettrica delle aziende italiane superiore rispetto alla media europea: nasce perciò l'esigenza di capire le cause della variabilità di questa commodity in ambito europeo

DOI 10.12910/EAI2014-103

■ M. Gaeta, M. Rao

## Introduzione

I costi sostenuti dalle famiglie e dalle imprese italiane per l'energia elettrica sono al centro di un dibattito che ritorna periodicamente alla ribalta. Sotto accusa le forti incentivazioni alle fonti rinnovabili elettriche, la fiscalità energetica in generale e il mix produttivo elettrico dell'Italia. Nella bolletta energetica è spesso individuato uno dei principali fattori di freno all'espansione industriale e quindi alla ripresa dell'economia del Paese. È importante, quindi, dare una chiara collocazione dei prezzi dell'energia elettrica in Italia rispetto agli altri

Paesi europei e cercare di capire le cause della variabilità di questa commodity in Europa. In questo articolo ci soffermeremo sui dati relativi alle imprese industriali, che in Italia rappresentano il 23% del valore aggiunto ai prezzi base<sup>1</sup> e dell'occupazione<sup>2</sup> nel 2013 e costituiscono uno dei settori chiave dell'economia del nostro Paese.

## Analisi della struttura industriale dei vari Paesi UE

Prima di procedere ad una disamina della struttura e della dinamica dei prezzi appare utile contestualizzare i relativi dati nella cornice di riferimento risultante dall'analisi comparata dei vari settori industriali per i Paesi presi in esame. Tale approfondimento mira a determinare quali settori si caratterizzano per un maggiore ricorso all'ener-

gia elettrica e quale sia, per essi, il peso dell'energia elettrica nel mix dei consumi energetici.

La prima parte dell'analisi può essere effettuata mediante l'uso delle statistiche energetiche comunitarie, Eurostat.

La Tabella 1 riporta le percentuali ottenute calcolando la quota di consumi finali di energia dei settori a maggior consumo di energia elettrica sul totale dei rispettivi consumi, per alcuni Paesi UE e l'Italia. I consumi di energia elettrica costituiscono una quota significativa in ognuno dei settori esaminati, in modo particolare nei metalli non ferrosi (66% di share sui consumi finali mediamente tra i Paesi esaminati), tessile (41%), mezzi di trasporto (59%), chimico e petrolchimico (35%); per il settore costruzioni la media tra Paesi è intorno al 31%. I Paesi che maggiormente ricorrono

Contact person: Maria Gaeta  
maria.gaeta@enea.it



	Industria	Siderurgia	Metalli non ferrosi	Chimica e petrolchimica	Minerali non metallici	Prodotti alimentari e tabacco	Tessile	Carta	Mezzi di trasporto	Meccanica	Costruzioni
UE 28	31%	20%	57%	28%	17%	34%	40%	31%	53%	54%	20%
Germania	32%	16%	56%	32%	17%	31%	36%	35%	51%	55%	0%
Spagna	30%	39%	80%	17%	15%	39%	44%	24%	51%	45%	18%
Francia	33%	17%	62%	36%	19%	39%	44%	32%	61%	62%	18%
<b>Italia</b>	<b>35%</b>	<b>26%</b>	<b>43%</b>	<b>32%</b>	<b>16%</b>	<b>39%</b>	<b>40%</b>	<b>33%</b>	<b>76%</b>	<b>50%</b>	<b>29%</b>
Paesi Bassi	22%	10%	76%	17%	18%	29%	29%	32%	48%	46%	8%
Svezia	40%	25%	81%	71%	21%	52%	62%	33%	89%	77%	99%
Regno Unito	32%	9%	65%	38%	22%	31%	33%	46%	37%	60%	44%

**TABELLA 1** Distribuzione delle quote dei consumi di energia elettrica sui consumi finali di alcuni settori per i principali Paesi UE. Anno 2012 (dati %)

Fonte: elaborazione ENEA su dati Eurostat

all'energia elettrica nel mix di consumi del comparto industriale analizzato sono la Svezia (57%), l'Italia (41%) e la Spagna (36%); Francia, Germania e Regno Unito oscillano intorno ad una media del 33%, in linea con il dato complessivo per l'Europa a 28 nazioni del 35%.

Interessante è confrontare il peso della bolletta energetica sul valore della produzione in un esperimento condotto per Germania e Regno Unito per cui erano disponibili i dati: i settori selezionati sono quelli in cui l'acquisto di prodotti energetici presenta il maggior peso sul valore della produzione e per cui il valore della produzione di settore appare significativo sul totale della produzione manifatturiera presa in considerazione. Per l'Italia non sono disponibili dati Eurostat per il 2012, così, nonostante le limitazioni metodologiche, si è proceduto ad una ricostruzione utilizzando uno studio fatto dalla Banca d'Italia e alcuni dati Eurostat per il 2011.

La Figura 1 suggerisce una tendenziale efficienza del processo pro-

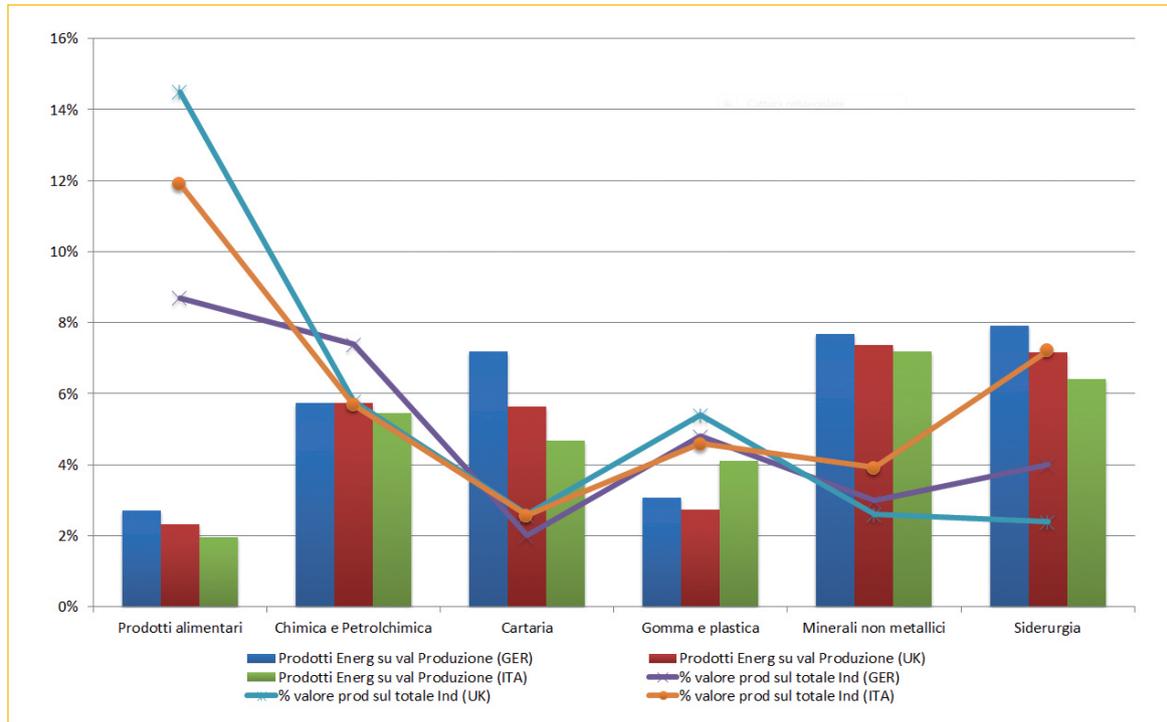
duuttivo nazionale per i settori considerati in confronto a Regno Unito e Germania; la quota di produzione dei medesimi settori sul totale manifatturiero è allineata a quella degli altri due Paesi, ad indicare una sostanziale omogeneità dell'importanza dei medesimi sul comparto. Di fatto si nota come in Italia, per la tipologia di imprese esaminate, il valore degli acquisti energetici non superi il 7% del valore della produzione relativa. È quindi rilevante esaminare il ruolo giocato dai prezzi in termini di andamento delle componenti principali dei medesimi per dare conto di come esse possano influenzare la competitività delle imprese italiane rispetto alle concorrenti europee.

### Prezzi dell'energia elettrica in Europa per il settore industriale

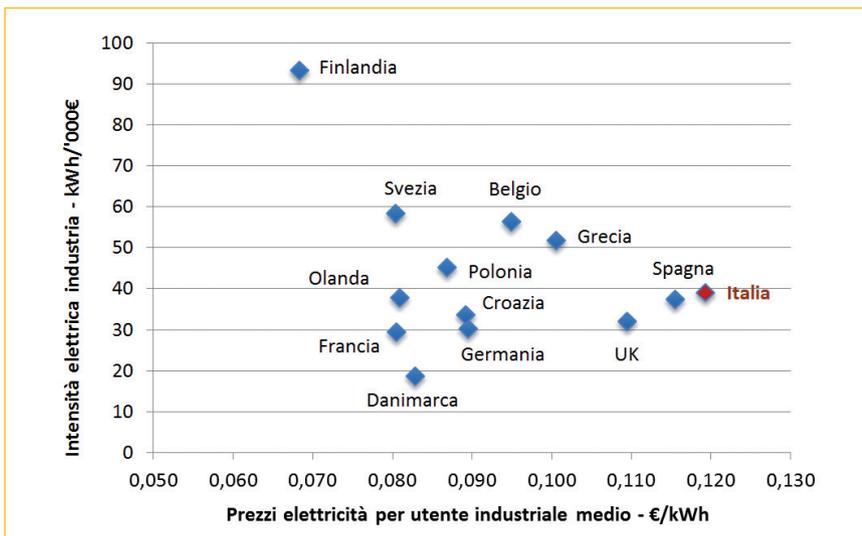
I prezzi dell'energia elettrica sostenuti dalle industrie dei Paesi UE rappresentano un tema di grande interesse nel quadro del dibattito sulle politiche per la ripresa pro-

duuttiva e la competitività del nostro Paese, soprattutto in questo periodo in cui la crisi economico-finanziaria continua a far sentire pesantemente i suoi effetti.

Nel corso degli ultimi anni le imprese italiane hanno pagato prezzi per l'energia elettrica maggiori dei principali Paesi e della media europea (Figura 2). Eccezione tra questi, per alcune fasce di consumo, i prezzi lordi della Germania: nel primo semestre del 2013, infatti, è stato registrato un valore lordo più alto di quelli italiani di circa il 15% nella fascia 70-150 GWh di consumo annuo. A pesare realmente sui bilanci aziendali sono però soltanto i prezzi elettrici depurati da IVA e imposte deducibili e non i prezzi lordi, perciò le imprese tedesche che, in prima analisi, sono sembrate svantaggiate da un prezzo più elevato, hanno sostenuto nel primo semestre del 2013 un prezzo del 7% più basso di quello addebitato alle industrie energivore italiane e nel secondo semestre 2013 il divario ha raggiunto il 20%.



**FIGURA 1** Valore degli acquisti per prodotti energetici su totale della produzione e quota della produzione di settore sul totale della produzione manifatturiera. Italia (2011), Germania, Regno Unito (2012) (dati %)   
 Fonte: elaborazione ENEA su dati Eurostat e Banca d'Italia



**FIGURA 2** Intensità elettrica (consumi su valore aggiunto) e prezzi medi annui per consumatore industriale medio per alcuni Paesi europei. Anno 2012   
 Fonte: elaborazione ENEA su dati Eurostat e Banca d'Italia

Nella Tabella 2 i dati Eurostat mostrano la situazione sopportata dalle imprese italiane per il costo dell'energia elettrica rispetto agli altri principali Paesi dell'Unione Europea nello scorso anno. I prezzi italiani, al netto delle imposte deducibili, sono risultati superiori a quelli medi europei con differenziali compresi tra il 34% e il 47% a seconda della classe di consumo, mentre al lordo tali differenziali hanno presentato una variabilità tra il 17% e il 38%. L'Italia infatti, insieme con la Germania, ha registrato prezzi tra i più elevati in tutte le fasce a causa dell'incidenza fiscale e degli incentivi alle fonti rinnovabili. La situazione italiana è evidenziata ancora di

Fascia consumo €/kWh	<20 MWh		20-500 MWh		500-2000 MWh		2-20 GWh		20-70 GWh		70-150 GWh	
	netti	lordi	netti	lordi								
EU27	0,190	0,233	0,142	0,176	0,119	0,148	0,107	0,132	0,095	0,117	0,086	0,107
Area Euro	0,205	0,250	0,151	0,186	0,127	0,156	0,113	0,139	0,098	0,121	0,087	0,107
Germania	0,243	0,308	0,148	0,217	0,143	0,189	0,128	0,170	0,112	0,152	0,102	0,139
Spagna	0,242	0,293	0,152	0,184	0,121	0,147	0,106	0,129	0,087	0,105	0,073	0,088
Francia	0,134	0,156	0,110	0,131	0,091	0,108	0,079	0,094	0,071	0,085	0,060	0,072
<b>Italia</b>	<b>0,269</b>	<b>0,322</b>	<b>0,197</b>	<b>0,233</b>	<b>0,170</b>	<b>0,197</b>	<b>0,156</b>	<b>0,176</b>	<b>0,135</b>	<b>0,148</b>	<b>0,115</b>	0,125
Polonia	0,151	0,186	0,116	0,143	0,090	0,111	0,077	0,095	0,072	0,088	0,068	0,084
Svezia	0,148	0,185	0,088	0,110	0,078	0,097	0,068	0,085	0,061	0,076	0,054	0,067
Regno Unito	0,154	0,186	0,133	0,160	0,118	0,141	0,108	0,129	0,107	0,128	0,104	0,125

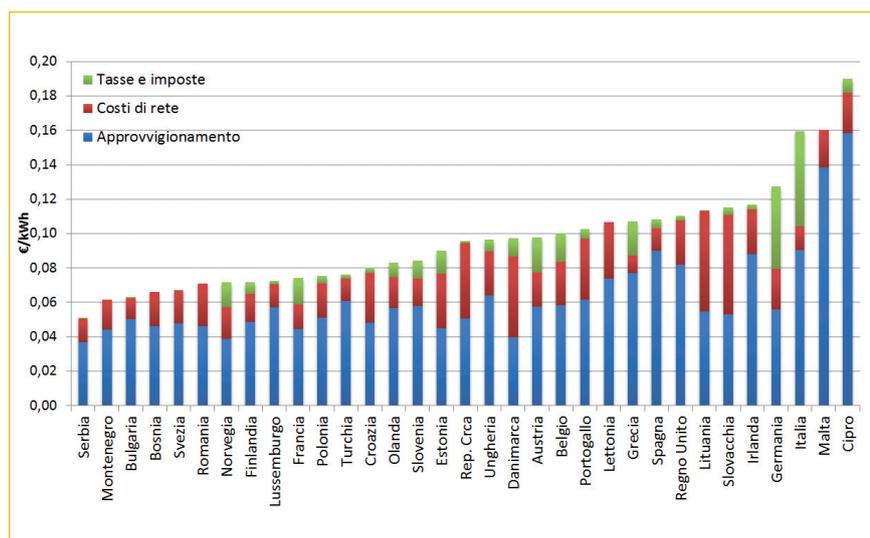
**TABELLA 2** Prezzi finali dell'energia elettrica per gli utenti industriali, per fascia di consumo annuo. Prezzi al netto e al lordo delle imposte (€/kWh, media anno 2013)

Fonte: elaborazione ENEA su dati EUROSTAT

più dal confronto con alcuni Paesi europei. La Francia si caratterizza per avere prezzi dell'energia elettrica per gli usi non domestici tra più bassi. Per la fascia di consumo bassa, <20 MWh annui, nel 2013 il divario con l'Italia raggiunge e supera il 100%, mentre per le altre fasce non scende al di sotto del 79%.

Questa situazione è dovuta soprattutto al differente mix di generazione elettrica: in Francia circa il 73% dell'energia elettrica prodotta nel 2013 proviene da fonte nucleare. Situazione analoga con altri Paesi europei che hanno una generazione elettrica derivante da fonti economicamente più vantaggiose. È il

caso della Svezia con circa il 46% della produzione da nucleare e il 43% da idroelettrico, che presenta un prezzo netto dell'energia elettrica per alcune fasce inferiore alla metà dei prezzi equivalenti italiani, oppure la Polonia che basa il proprio parco termoelettrico sul carbone (circa l'84% della produzione). Le imprese che pagano di più questi differenziali sono per lo più appartenenti alle fasce di medio-basso consumo, alla base del settore manifatturiero italiano (Figura 3). La classe più rappresentativa dei consumatori industriali (20-500 MWh annui) presenta nel 2013 un incremento del 25% dei prezzi netti rispetto alle medie registrate nel 2008, e solo del 2% rispetto ai valori del 2012. A testimonianza di una sempre maggiore pressione sulle bollette delle piccole e medie imprese, l'incremento dei prezzi diventa meno sostenuto al crescere della fascia di consumo: la classe 2-20 GWh, infatti, ha visto aumentare i prezzi dell'energia elettrica del 17% rispetto ai dati medi 2008, ma ha presentato anche un decremen-



**FIGURA 3** Componenti dei prezzi netti dell'energia elettrica per utenti industriali. Fascia di consumo 2-20 GWh, 2° semestre anno 2013

Fonte: elaborazione ENEA su dati Eurostat

€/MWh	IPEX Italia	EPEX Germania	Nord Pool Area scandinava	OMEL Spagna	EPEX Francia
2004	51,6	28,5	28,9	37,9	28,1
2005	58,6	46,0	29,3	53,7	46,7
2006	74,8	50,8	48,6	50,5	49,3
2007	71,0	38,0	27,9	39,4	40,9
2008	87,0	65,8	44,7	64,4	69,2
2009	63,7	38,9	35,0	37,0	43,0
2010	64,1	44,5	53,1	37,0	47,5
2011	72,2	51,1	47,1	49,9	48,9
2012	75,5	42,6	31,2	47,2	46,9
2013	63,0	37,8	38,4	44,3	43,2

**TABELLA 3** Confronto principali borse elettriche europee. Prezzi medi annuali (€/MWh)

Fonte: elaborazione ENEA su dati GME

to del 5% rispetto a quelli dell'anno precedente.

Sono molti i fattori che concorrono ad innalzare il prezzo della bolletta elettrica delle aziende italiane rispetto alla media europea, ma non è soltanto il ricorso ad un mix elettrico, mediamente più costoso, a fare la differenza. I corrispettivi pagati dalle aziende italiane per l'acquisto dell'energia elettrica risentono non solo del costo di produzione di tale vettore energetico e della tassazione, ma anche delle dinamiche dei mercati e dei servizi infrastrutturali e anche queste voci possono variare notevolmente da Paese a Paese.

La criticità italiana si è intensificata in seguito alla crescita dei costi delle incentivazioni delle energie rinnovabili elettriche, finanziate per la maggior parte attraverso la componente A3 della bolletta elettrica, che da sola oggi rappresenta circa il 90% degli "oneri di sistema". Si è infatti passati da un gettito annuo degli oneri della componente A3 di poco più di 3 miliardi di euro nel 2009 a

quasi 13 miliardi nel 2013 (AEEG). L'impatto degli oneri sugli utenti finali è naturalmente differenziato e secondo elaborazioni della Cassa Conguaglio del settore elettrico il 70% degli oneri raccolti con la tariffa A3 sono sostenuti dalle imprese. L'Italia, insieme con la Germania, nel 2013 ha registrato il più alto valore della componente legata a tasse e imposte, mentre i costi di rete, trasmissione e distribuzione, sono stati relativamente contenuti rispetto alla media europea. Negli ultimi anni in Europa i prezzi dell'energia elettrica hanno continuato ad aumentare, nonostante la caduta o i livelli stabili di consumo di energia elettrica. Questo aumento dei prezzi è stato guidato principalmente dall'aumento di tasse e imposte e dei costi di rete.

Una componente importante del prezzo pagato dagli utenti finali è certamente in parte riconducibile al differenziale di prezzo tra i mercati elettrici tra i diversi Paesi europei. Da anni, infatti, i prezzi sulla borsa elettrica italiana sono tra i più alti. Il

differenziale di prezzo tra mercato elettrico italiano e tedesco nel 2013 era di circa 25,2 €/MWh, dopo aver toccato il massimo di 33 €/MWh nel 2007. Rispetto a Spagna e Francia il divario scende tra i 19-20 €/MWh.

Lo scostamento può essere ricondotto a differenze di mix produttivo, struttura del settore elettrico, modalità di incentivazioni alle fonti rinnovabili e struttura stessa del mercato. Guardando a qualche anno addietro si evidenziano differenziali elevati anche in periodi in cui gli oneri di sistema, e quindi gli incentivi alle rinnovabili, erano trascurabili. La struttura del nostro parco di generazione, con i cicli combinati a gas come tecnologia marginale e un costo di approvvigionamento gas superiore a quello medio europeo, ha giocato un ruolo fondamentale.

Il trend italiano degli ultimi anni, inoltre, non riflette appieno quello delle altre borse europee: fino al 2008 il prezzo medio annuale presentava incrementi in linea con Germania, Francia e Spagna; la stessa crisi economico-finanziaria, che ancora oggi attanaglia l'Europa, nel 2009 non ha generato in Italia contrazioni importanti (-27%) così come negli altri Paesi (Spagna -43%).

## Conclusioni

La questione energetica in Europa, e soprattutto in Italia, è uno dei temi determinanti e di principale interesse per la competitività dell'industria sia a livello europeo che rispetto alle principali economie mondiali. Gli elevati costi energetici causano una delocalizzazione delle imprese produttive ad alta intensità energe-

tica europea e italiane verso aree e mercati economicamente ed energeticamente più sostenibili. Risulta, quindi, auspicabile una lungimirante strategia che affronti tutte le problematiche connesse a costi e prezzi dell'energia a partire dall'approvvigionamento fino ai mercati e alle imposte fiscali per l'utente finale.

L'Europa nel complesso si configura come un'area non molto ricca di risorse energetiche naturali: nel 2012 ha infatti registrato una dipendenza energetica dall'estero per l'approvvigionamento di energia del 53,4%. In Italia questa criticità è ancora più accentuata: 80,8% di dipendenza estera nel 2012, pur in presenza di un trend di riduzione grazie al ricorso alle fonti rinnovabili. Questa situazione strutturale, sommata al problema della sicurezza energetica legata ai fornitori, si riversa anche nei prezzi al consumatore finale dell'energia elettrica.

La diversificazione delle fonti e dei fornitori per ridurre i rischi della dipendenza energetica è perciò uno dei primi passi per il contenimento dei prezzi e la competitività industriale, ma l'efficienza ener-

getica, la ricerca e l'innovazione tecnologica sono altresì degli elementi chiave su cui puntare. Gli sforzi dell'industria europea per compensare i maggiori costi energetici attraverso il miglioramento costante dell'efficienza energetica potrebbero tuttavia non essere sufficienti a contrastare la delocalizzazione manifatturiera.

Priorità europea è naturalmente un mercato interno dell'energia e lo sviluppo di interconnessioni di rete gas ed energia elettrica per assicurare una convergenza dei prezzi a livello europeo. Nei prezzi al dettaglio nazionali hanno molta influenza la struttura stessa dei mercati elettrici e della modalità di formazione del prezzo, la distribuzione di rete, tasse e tariffe nazionali e l'attuazione diversificata, a livello Paese, di politiche energetiche e climatiche che contribuiscono a frammentare e variegare il panorama europeo dei prezzi dell'energia elettrica.

Per l'Italia è sicuramente molto importante cercare di ridurre il differenziale dei prezzi elettrici con l'Europa e per raggiungere tale obiettivo risulta indispensabile in-

vestire in infrastrutture per ridurre le congestioni e aumentare le interconnessioni con il resto d'Europa e ridisegnare il mercato elettrico. L'attuale struttura e il funzionamento dei mercati elettrici non favoriscono infatti l'efficienza del sistema, ampliando il differenziale tra PUN<sup>3</sup> e componente energia della bolletta. Un importante elemento emerso in queste analisi è il differenziale di costo elettrico per tasse e imposte imputabile all'incremento nel tempo degli oneri di sistema per le incentivazioni alle rinnovabili, anche se i differenziali erano già alti prima della corsa al fotovoltaico. Sicuramente le politiche di incentivazione, forse non troppo calibrate sulle reali esigenze del mercato, hanno contribuito ad esasperare questa criticità ma appare necessario non demonizzare le fonti rinnovabili e cogliere nella Green Economy, e nelle possibili filiere industriali legate alle fonti pulite, una grossa opportunità di sviluppo per le imprese del settore. ●

Maria Gaeta, Marco Rao  
ENEA, Unità Centrale Studi e Strategie

#### bibliografia

- Commissione Europea (2014). Energy prices and costs report in Europe. SWD (2014) 20 final/2
- AEEG (2012). Indagine conoscitiva sulle determinanti della dinamica dei prezzi e delle tariffe, sull'attività dei pubblici poteri e sulle ricadute sui cittadini consumatori. 411/2012/I/COM.
- Banca d'Italia (2014). Spesa energetica e competitività delle imprese italiane. Questioni di economia e finanza - Occasional Paper
- Eurostat (2014). Energy Statistics database
- Fondazione per lo sviluppo Sostenibile (2013). I costi dell'energia in Italia
- GME (2014). Confronto Borse Europee
- WEC (2014). I conti che non tornano: le imprese italiane e le bollette più care

#### note

1. Istat, dati provvisori.
2. Unità di lavoro totali in migliaia per il settore Industria, dati provvisori.
3. PUN = Prezzo Unico Nazionale, è il prezzo d'acquisto dell'energia elettrica nel mercato elettrico italiano (IPEX) espresso come media dei prezzi zonal ponderata con gli acquisti totali, al netto degli acquisti dei pompaggi e delle zone estere.

# Per una bibliografia dell'energia in Italia

La bibliografia che qui presentiamo considera, principalmente, scritti di politica energetica italiana ed in lingua italiana, con qualche necessario riferimento in lingua inglese e francese. Sono messe in evidenza soprattutto le questioni legate al processo di presa di decisioni per le politiche energetiche che, di tutta evidenza, deve avvalersi di un contributo tecnico di analisi e valutazione preventivo e necessario al potere politico, cui spetta la responsabilità ultima delle decisioni. L'intento è quello di tracciare un percorso che possa guidare l'utente nelle sue attività di ricerca o di studio inerenti al soggetto trattato, senza per questo aver la pretesa di essere esaustiva

DOI 10.12910/EAI2014-104

■ D. Chello

Umberto Eco in un suo scritto minore, ma non per questo meno interessante, asserisce che "Nella tribù primitiva il vecchio assicurava: *Così sono accadute le cose nella notte dei tempi, lo assicura quella tradizione che si è tramandata di bocca in bocca sino ai giorni nostri*, e la tribù dava fiducia alla tradizione. Oggi i libri sono i nostri vecchi. Anche se sappiamo che sovente sbagliano, li prendiamo in ogni caso sul serio"<sup>1</sup>. La bibliografia è la ricerca dei testi stampati per darne segnalazione, descriverli e classificarli allo scopo di costituire strumenti e organizzare servizi atti a facilitare il lavoro intellettuale<sup>2</sup>. In tal modo è possi-

bile conoscere quanto sia stato già scritto su un certo argomento, la produzione di un determinato autore, la frequenza in un determinato periodo storico, di testi concernenti il soggetto selezionato.

Le bibliografie generali e settoriali non pretendono in ogni caso di essere esaustive, ma di tracciare un percorso che possa guidare l'utente della stessa nelle sue attività di ricerca o di studio inerenti al soggetto trattato.

In detta accezione ci siamo decisi ad intraprendere un tentativo di bibliografia dell'energia in Italia, e più restrittivamente, della politica energetica italiana, intendendo per tale quella attività, o l'insieme di quelle attività, che hanno in qualche modo come termine di riferimento la polis, cioè lo Stato<sup>3</sup> ed il cui scopo principale è quello di garantire la sicurezza degli approvvigiona-

menti energetici, la competitività delle imprese e la sostenibilità.

C'è da dire che, per un buon trentennio tra gli anni venti e l'immediato dopoguerra, la sicurezza degli approvvigionamenti energetici si è ben identificata con la sicurezza degli approvvigionamenti petroliferi e ciò ovviamente non solo in Italia; di competitività delle imprese e di sostenibilità non si parlava per niente. Dopo il 1955, il nucleare è andato via via conquistando una posizione non marginale nel paniere delle scelte possibili per il soddisfacimento delle domande interne, soprattutto di energia elettrica. La disgraziata storia di quest'opzione in Italia ha prodotto una proliferazione – il termine non è casuale – di testi a sostegno ovvero avversi, così come si potrà constatare dalle schede di questa bibliografia. Dopo il 1973, con la formalizzazione del



cosiddetto “Dialogo produttori-consumatori” il proposito di realizzare l'*indipendenza energetica nazionale* è andato sfumando lentamente ma continuativamente, a profitto di una riconosciuta necessità di *interdipendenza energetica* che prendeva atto via via del processo di globalizzazione dell'economia, del superamento degli Stati-Nazione e di una necessità sempre più avvertita di una governance globale per l'energia. Il Rapporto del MIT al Club di Roma (1972) introduce di forza la sostenibilità come obiettivo della politica energetica così come la globalizzazione pone la necessità di tener più in conto la competitività delle imprese. Il gas naturale si presenta quindi come la fonte sul breve termine la più opportuna per conseguire i tre obiettivi della politica energetica ormai consolidatisi, anche se pone ancora una volta il problema delle relazioni tra produttori e consumatori e come garantire gli investimenti diretti esterni (*foreign direct investments*<sup>4</sup>), soprattutto per le grandi infrastrutture di trasporto transfrontaliere. Le fonti rinnovabili di energia non convenzionali guadagnano viepiù terreno, dalla metà degli anni ottanta, grazie ad un importante sforzo degli Stati in termini di R&D e di sostegno finanziario alla produzione messo in atto con strumenti diversi. Il dialogo si ripresenta, ma questa volta tra produttori di tecnologie e consumatori delle stesse. La bibliografia che qui presentiamo, cerca di ripercorrere il breve excursus prima illustrato in estrema sintesi, considerando soprattutto le questioni legate al processo di

presa di decisioni per le politiche energetiche che, di tutta evidenza, deve avvalersi di un contributo tecnico di analisi e valutazione preventivo e necessario al potere politico, cui spetta la responsabilità ultima delle decisioni. I testi selezionati sono per la maggior parte contributi tecnici generali ed anche specifici della fonte di energia considerata, per cura di specialisti del settore che son stati protagonisti delle vicende della politica energetica italiana partecipandola sia dal lato industriale sia da quello accademico e delle organizzazioni statali e private operanti in materia energetica. Si è accordata priorità ai testi in lingua italiana, ma si sono selezionati alcuni testi in lingua inglese e francese in due casi particolari: 1) quando gli autori hanno avuto un'indubbia influenza sulle analisi nazionali sia dal punto di vista del metodo che per quanto riguarda la visione internazionale da cui non può prescindere per il problema energetico; 2) quando l'argomento trattato non trova un equivalente riscontro nella letteratura italiana di settore. Tutti i testi riguardanti le tecnologie energetiche, le attività di ricerca e sviluppo ad esse correlate, i trattati di ingegneria che riguardano componenti e sistemi energetici, quelli di economia ed econometria che riguardano la messa a punto di modelli di previsione e valutazione così come i testi focalizzati sul problema dei cambiamenti climatici, sono stati esclusi in questo nostro lavoro. Parimenti, tutti gli articoli pubblicati su riviste di settore non sono stati considerati, con l'eccezione di un

solo caso perché ben rappresentativo di una buona pratica. Anche i libri-inchiesta, oltremodo polemici ed eccessivamente volgarizzati sono stati esclusi, con l'eccezione di un solo caso perché ben rappresentativo di una cattiva pratica. Diversamente, alcuni testi a carattere prevalentemente storico riguardante il divenire delle imprese produttrici di energia vi sono stati inclusi. Per gli autori che hanno scritto sia di scienza e tecnica sia di politica energetica, solo questi ultimi testi sono stati considerati; per esempio, troveremo di Paolo Loizzo, *Le centrali nucleari. Ovvero, il diavolo che non c'è*, che è un testo rigoroso di divulgazione e di politica energetica, ma non *Progetto neutronico dei reattori ad acqua*, che è un testo di progettazione neutronica e termoidraulica dei reattori nucleari ad acqua. Ciascuna scheda che si riferisce ai testi selezionati, è corredata da una sintetica nota di commento per presentare l'argomento, contestualizzarlo nel periodo storico della sua pubblicazione, evidenziarne i tratti più interessanti in coerenza con gli obiettivi di questa bibliografia e fornire qualche notizia circa l'autore (gli autori). Ora è del tutto evidente che, sia la scelta che l'esclusione dei testi nel repertorio, sia, ancor più i commenti, risentono della cultura e dell'esperienza dell'autore di questo lavoro, che ha avuto modo di conoscere personalmente, ed in qualche caso di lavorare, con gran parte degli autori citati, italiani e stranieri. Ciò non basta per azzardare un commento, seppur sintetico, sulle



loro opere; è stato necessario leggerle e comprenderle, almeno in parte, e questo ha comportato non poco tempo. Certamente qualche buon titolo è sfuggito, per ignoranza dell'autore, a questo primo tentativo per una bibliografia italiana della politica energetica; me ne scuso sinceramente, con l'augurio che qualcun altro, con più tempo e maggior entusiasmo, possa continuare l'opera qualora lo ritenesse di un certo interesse.

### Schede

Le schede sono ordinate in ordine cronologico per data di edizione. Per ciascuna scheda sono indicate le note bibliografiche, e cioè il numero dei volumi, il loro formato, il numero di pagine (tra parentesi tonde sono indicate le pagine non numerate), la presenza o meno di illustrazioni, il tipo di rilegatura; quindi, le note tipografiche e cioè l'Editore/Stampatore, il luogo di stampa, la data di stampa e la collana, se del caso. Per il formato sono adottate le regole in vigore per i libri moderni (dopo la metà del XIX secolo) come di seguito indicato:

H > 38 cm. In Folio

28 cm. < H < 38 cm. In 4°

20 cm. < H < 28 cm. In 8°

15 cm. < H < 20 cm. In 16°

10 cm. < H < 15 cm. In 24°

dove H è l'altezza del volume espressa in centimetri. Le abbreviazioni sono quelle comunemente impiegate nei cataloghi delle biblioteche. Segue quindi, una breve nota di commento.

1. (1937) **Alimenti Cesare (ingere)**

La questione petrolifera italiana. Torino, Einaudi, 1937. Collana "Problemi contemporanei" (n. XIV). In 8° pp. 279 (7). Br. edit.

*Prima e nell'immediato dopoguerra, la politica energetica italiana si è identificata con la politica degli approvvigionamenti del petrolio.*

2. (1955) **Rossi Ernesto, Scalfari Eugenio, Piccardi Leopoldo** Petrolio in gabbia. Bari, Laterza, 1955. Collana "I libri del tempo" (27). In 8°, pp. 238 (1). Br. edit.

In appendice, il Progetto di legge per la coltivazione degli idrocarburi, presentato al convegno degli "Amici del Mondo".

3. (1955) **Nobis Enrico** Il Governo invisibile. Roma, Edizioni di Cultura Sociale (ma, Editori Riuniti). Prima edizione: dicembre 1955. In 16°, pp. 183 (9). Br. edit. illustr. *Questo libriccino compare qui in ragione di alcune schede sintetiche su alcuni personaggi chiave della politica energetica italiana del dopo guerra. Da segnalare, in particolare: "L'avventura meridionale di Giuseppe Cenzato" e "Le amicizie pericolose di Francesco Giordani".*

4. (1956) **Benoist-Mechin Jacques** Le loup et le léopard. Ibn-Séoud ou la naissance d'un royaume. Paris, Albin Michel, 1956. In 8°, pp. 446 (2). Br. edit. *L'autore fu condannato a morte nel 1947 per le sue attività, in ambito affari internazionali, col governo collaborazionista di Vichy. Successivamente fu graziato ed incarcerato fino al 1954. Interessante per la storia della nascita*

*dell'Arabia Saudita ed in particolare, della compagnia nazionale degli idrocarburi ARAMCO.*

5. (1958) **Albonetti Achille** EURATOM e sviluppo nucleare. Milano, Edizioni di Comunità, 1958. In 8°, pp. XI (1) + 168 (4). Br. edit. *I principali aspetti del Trattato istituito la Comunità Europea dell'Energia Atomica, entrato in vigore il 1° gennaio 1958, da parte di uno dei protagonisti del negoziato. Premessa molto ampia sui dati fondamentali del problema energetico. Interessante confrontare i fabbisogni mondiali di energia all'anno 2000; ahimè, essi sono espressi in migliaia di milioni di MWh di energia elettrica equivalente senza alcuna spiegazione a riguardo.*

6. (1959) **AA. VV.** Enciclopedia della civiltà atomica. Milano, Il Saggiatore, 1959. Dieci voll. in 4°. Tela edit. con numerose illustr.

*In particolare l'ultimo volume (X) riguarda la "Geografia e Politica dell'Energia".*

7. (1964) **Medici Giuseppe** Rapporto su l'energia nucleare in Italia. Roma, Istituto Poligrafico dello Stato, seconda edizione: giugno 1964. In 8°, pp. 187 (3). Br. edit.

*Raro esempio di documento politico (Rapporto al Parlamento italiano) sulla politica dell'energia nucleare, ad opera del Ministro per l'Industria, anche Presidente del Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare, realizzato sulla base di analisi tecniche ed economiche ad opera di specialisti del settore.*

8. (1965) **Ippolito Felice** La politica del CNEN (1960 - 1963). Prefazione di Etienne Hirsch. Milano, Il Saggiatore, 1965. In 16°, pp. XII + 294 (14). Br. edit.  
*Il 29 ottobre 1964 la Corte Penale di Roma condannò l'autore, ex Segretario Generale del Comitato dell'Energia Nucleare (CNEN), a 11 anni di prigione ed una multa di 4000 sterline. Il prof. Ippolito fu ritenuto colpevole di peculato e di abuso di carica pubblica a scopo di profitto personale (The Economist, 7 novembre 1964). Questo libro fu pubblicato durante il processo di appello. Il prof. Ippolito fu poi graziato nel 1967 dal suo più acerrimo accusatore politico, divenuto nel frattempo Presidente della Repubblica Italiana.*
9. (1967) **Mainguy Yves** L'économie de l'énergie. Préface de J. Ullmo. Paris, Dunod, 1967. Collection "Finance et Economie Appliquée", volume 21. In 8°, pp. XXIV + 532. Tela edit. con sovrac.  
*Un gran classico dell'Economia delle Fonti di Energia ad opera di un vecchio ingegnere dell'Ecole des Mines de Paris convertitosi alle scienze economiche applicate dal 1942. Tutte le filiere conosciute vi sono analizzate con rigore scientifico e dovizia di dati. Interessante la questione se mai gli Stati Uniti decideranno di sfruttare le ingenti risorse di idrocarburi non-convenzionali (già ben note da allora) nel prossimo futuro. La risposta dell'autore è che, dati i costi proibitivi delle operazioni necessarie, probabilmente questo accadrà per il soddisfacimento della domanda interna, ma è poco probabile che dette risorse possano rendersi disponibili per l'esportazione. Era il 1967!*
10. (1968) **Silvestri Mario** Il costo della menzogna. Italia nucleare 1945 - 1968. Torino, Einaudi, seconda edizione: 1968 In 8°, pp. XIII (I) + 406 (10). Br. edit. con sovrac.  
*L'autore collaborò col prof. Giuseppe Bolla ed altri, alla fondazione del Centro Informazioni Studi Esperienze (CISE) sin dal novembre 1946, mettendo a punto le prime esperienze in Italia per l'uso dell'energia nucleare da fissione per scopi pacifici. Quando il Governo nominò il prof. Francesco Giordani presidente del nascente Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari (CNRN, giugno del 1952) escludendo il prof. Bolla da ogni incarico, il CISE manifestò tutto il suo disappunto per una esclusione del tutto ingiustificata in termini di riconosciute competenze di settore. Silvestri ripercorre, con metodo storico, gli eventi successivi cercando di capire, e far capire ai suoi lettori, il perché il potere politico avesse deciso di partire, a suo avviso, col piede sbagliato in una sfida scientifica, tecnologica ed industriale di così grande portata, e quali ne sarebbero state le conseguenze. Di grande interesse il capitolo su Francesco Giordani.*
11. (1972) **Meadows D.H. - Meadows D.L. - Randers J. and Behrens W.W. III** I limiti dello sviluppo. Rapporto del System Dynamics Group Massachusetts Institute of Technology (MIT) per il progetto del Club di Roma sui dilemmi dell'umanità. Prefazione 1983 di Aurelio Peccei. Traduzione di Filippo Macaluso. Milano, Mondadori biblioteca della EST, ottava edizione: settembre 1983. In 8°, pp. 159(1). Cartoncino edit. illustr. con sovrac.  
*Il rapporto presentato in questo libro fu portato a conoscenza del pubblico per la prima volta nel marzo del 1972, durante una conferenza alla Smithsonian Institution di Washington. La sua diffusione è stata poi rapidissima, come testimoniano le ripetute edizioni in lingua inglese, seguite da quella olandese, tedesca, francese e giapponese. La prima edizione in lingua italiana è del 1972. Il grande merito di questo rapporto è di aver anticipato, in nuce, l'idea di una governance globale per far fronte al problema dell'esaurimento delle risorse naturali, ed in particolare delle materie prime energetiche. Nel contempo il rapporto pone il problema di una revisione del modello di crescita consolidato, anticipando il concetto di sostenibilità nella sua accezione più ampia. Le critiche di cui è stato fatto oggetto dipendono tutte dall'aver voluto quantizzare obiettivi e tempi che poi, inesorabilmente, si sono rivelati erronei. Ma gli stessi autori erano ben consci dei limiti del modello di simulazione adoperato per le loro previsioni.*

12. (1977) **Puiseux Louis** La babel nucléaire. Energie et développement. Paris, éditions galilée, 1977. In 8°, pp. 303 (3). Br. edit. *Qui il nucleare è quasi un pretesto per un'analisi del ruolo dei tecnici nei processi di assunzione delle decisioni di politica energetica.*
13. (1977) **Cozzi Gianni, Ferrero Giancarlo, Garribba Sergio, Giorgetti Giorgio, Panati Giovanni, Vacca' Sergio e Zorzoli Gian Battista** Una strategia per lo sviluppo energetico italiano. Milano, Franco Angeli, 1977. Collana "Economia delle Fonti di Energia". In 8°, pp. 356 (4). Br. edit. *Comincia a delinearsi il passaggio tra indipendenza ed interdipendenza energetica. "L'indipendenza e sicurezza nell'offerta energetica nel medio termine deve presentare lo sviluppo di una politica di collaborazione economica internazionale e quindi anche di intensificazione dell'interscambio coi Paesi produttori di energia e in via di sviluppo" (Vaccà). E ancora: "Le politiche di indipendenza energetica imperniate soprattutto sulle possibilità e capacità dei singoli stati-nazione, si dimostreranno sempre più difficili da perseguire e si risolveranno, di fatto, in un continuo spostamento nel tempo, degli obiettivi di autosufficienza energetica" Interessante raccolta di studi, coordinati dal prof. Sergio Vaccà, con l'intento di fornire, specialmente ai decisori politici, un'analisi approfondita tecnico economica*
- per la revisione del primo Programma Energetico Nazionale (PEN) elaborato dal Ministero dell'industria nel 1975 (ministro: Carlo Donat-Cattin). Il PEN subì due revisioni, la prima nel 1977 e la successiva nel 1981 dove le stime dei fabbisogni furono riviste al ribasso. La previsione di come produrre l'energia elettrica, però, non subì modifiche, il PEN continuava a mantenere lo scenario del nucleare anche se ridimensionato proporzionalmente alla riduzione dei fabbisogni. Il primo PEN prevedeva, all'orizzonte 1990, l'entrata in funzione di impianti nucleari per una potenza installata compresa tra i 46.000 e i 62.000 MW.*
14. (1978) **De Montbrial Thierry** L'énergie: le compte à rebours. Recommandations de Robert Lattès et Carroll Wilson. Paris, Editions Jean-Claude Lattès, 1978. In 8°, pp. 318 (2). *Uno dei dieci Rapporti al Club di Roma che seguirono al rapporto del MIT sui Limiti dello Sviluppo. Questo, in particolare, riguarda l'energia. Thierry De Montbrial è l'attuale presidente dell'Istituto Francese per le Relazioni Internazionali (IFRI).*
15. (1978) **Commoner Barry** L'energia alternativa. Prefazione di Laura Conti. Roma, Editori Riuniti, 1978. Collana "Argomenti" (87). In 16°, pp. XVI + 184. Br. edit. *Il problema principale che Commoner ha esaminato in questa raccolta di scritti pubblicati tra il 1975 ed il 1977, è quello del rendimento decrescente che caratterizza lo sfruttamento delle risorse non rinnovabili. Scritti divulgativi, con un discreto rigore scientifico.*
16. (1978) **Ippolito Felice** Intervista sulla ricerca scientifica. A cura di Luigi Lerro. Bari, Laterza, 1978. Saggi Tascabili Laterza (46) In 16°, pp. (6) 158 (10). Br. edit. *Quantunque il titolo prelude ad un tema assai specifico, più della metà di questo tascabile è dedicata ai catastrofici rapporti tra tecnici e politici ed alle conseguenze di un processo decisionale fortemente condizionato da questioni non pertinenti, con le conseguenze del caso. Ippolito, decisamente più sereno a più di dieci anni dalla sua scarcerazione, ritorna anche sul suo personale "caso" fornendo alcune informazioni di dettaglio in modo schietto e diretto. Ben strutturato.*
17. (1978) **Colombo Umberto, Bernardini Oliviero, Galli Riccardo e Mebane William** Il Rapporto WAES-Italia: le alternative strategiche per una politica energetica. Milano, Franco Angeli, 1978. Collana "Economia delle Fonti di Energia". In 8°, pp. 471 (17). Br. edit. *Il Workshop on Alternative Energy Strategies (WAES) è stato un progetto internazionale, partito nel 1974, mirante a fornire ai decisori politici un ventaglio di possibili strategie energetiche all'anno 2000 ed oltre. I partecipanti, 35 esperti in posizioni chiave provenienti da 15 diversi Paesi, furono coordinati dal prof. Carroll L. Wilson del MIT. Primo tentativo di global governance*

tecnico scientifica di un problema complesso, quale la sicurezza degli approvvigionamenti energetici a livello mondiale. Questo è uno dei numerosi rapporti (caso studio: Italia) pubblicati a valle delle attività del progetto. Gli autori lavoravano tutti in Montedison. Approccio metodologico semplificato, ma non per questo scevro da complessità, che necessitava, per la sua implementazione, di un gran numero di dati, di una accurata scelta delle variabili di scenario e di una stretta collaborazione tra imprese energetiche ed organizzazioni internazionali in un tempo in cui l'Agenzia Internazionale dell'Energia di Parigi non era stata ancora creata.

18. (1979) **Colitti Marcello** Energia e sviluppo in Italia. La vicenda di Enrico Mattei. Bari, De Donato, 1979. In 16°, pp. 241(5). Br. edit.  
*Questo libro, più che una biografia di Enrico Mattei, ricostruisce come in Italia si è posta la questione energetica, sin dall'immediato dopoguerra. Contraddizioni palesi o latenti del sistema politico italiano ed, ancora una volta, la inopportuna attitudine dei tecnici che vogliono far politica e dei politici che valutano le diverse opzioni su base tecnico scientifica.*
19. (1979) **Ballardin Gianfranco** Morire per l'ENEL. Centrali nucleari: il Governo ha nascosto la verità. Milano, SUGARCo edizioni, 1979. In 8°, pp. 341(3). Br. edit.  
*Significativo campione di libro-inchiesta scandalistico populista,*

*per cura dell'ennesimo giornalista (Corriere della Sera) che confonde potenza (MW) con energia (MWh). Vi si discute di neutroni e loss of coolant accident (LOCA), lobby atomica e giornalisti prezzolati, scoppio di centrali ed evacuazione dell'intera popolazione di Roma e Milano. Il tutto condito dalla seguente proprietà transitiva: il PCI sostiene convinto e compatto lo sviluppo dell'energia nucleare in Italia; ma il PCI non è affidabile, dunque il nucleare non è la scelta giusta per l'Italia. Purtroppo la letteratura di settore, in lingua italiana, abbonda di questo tipo di "inchieste" e questo titolo ci è parso tra i più significativi a riguardo.*

20. (1979) **Stobaugh Robert & Yergin Daniel** Energy Future. Report of the Energy Project at the Harvard Business School. New York, Random House, 1979. In 8°, pp. X (II) + 353 (3). Mz. tela edit. con sovrac.  
*Primo libro di una certa rilevanza sui temi della politica energetica, ad opera di un importante opinion maker, Daniel Yergin che influenzerà per un buon trentennio gran parte dei lavori di outlook di organizzazioni internazionali del settore. Vi si presenta una dettagliata ed esaustiva descrizione della politica energetica degli Stati Uniti. In fine, conclusioni e raccomandazioni per il Governo, un'appendice sui limiti dei modelli econometrici e semi analitici di previsione ed una bibliografia molto vasta. Daniel Yergin vincerà nel 1992 il premio Pulitzer per la sezione non scien-*

*ce-fiction, col suo libro "The Prize: the epic quest for oil, money & power" che sarà tradotto in lingua italiana da Sperling & Kupfer. Continuerà a pubblicare diversi altri libri sullo stesso argomento.*

21. (1981) **Ippolito Felice** Politica europea e politica dell'energia. Napoli, Liguori, 1981. Collana "La società e la scienza" (8). In 8°, pp. 274 (2). Br. edit.  
*Nella sua nuova veste di parlamentare europeo (dal 10 giugno 1979, eletto come indipendente nelle liste del PCI) il prof. Ippolito ritorna sui temi, a lui cari, della politica energetica plaudendo, con grande lungimiranza, per una maggiore integrazione delle politiche energetiche ed industriali dei Paesi della Comunità europea. Serie di scritti, di cui alcuni inediti.*
22. (1985) **Ascari Sergio** Il metano in Italia. Mercato, Prezzi e Sistema Distributivo. Introduzione di Fernando Amman. Milano, Franco Angeli, 1985. Collana "Economia e politica dell'Energia" diretta da Fernando Amman, Umberto Colombo, Sergio Vaccà. In 8°, pp. 292 (2). Br. edit.  
*Nonostante il gas naturale sia stata l'unica risorsa energetica fossile di cui disponesse l'Italia, ed i lusinghieri risultati ottenuti da Mattei (6 miliardi di metri cubi all'anno di produzione indigena agli inizi degli anni sessanta) il tema del metano, almeno fino alla data di questo libro, era stato relativamente poco analizzato nei suoi diversi aspetti che vanno dal mercato internazionale, alle infrastrutture di trasporto ed*



alla distribuzione nazionale. Interessante l'analisi del mercato potenziale negli usi domestici, la stima degli obiettivi previsti per il 1990 e la dinamica delle diverse componenti del prezzo finale.

23. (1986) **Darmstadter Joel, Landsberg Hans H., Morton Herbert C., Coda Michael J.** *Vivere con l'incertezza. Il Problema dell'energia nel mondo contemporaneo.* Edizione italiana a cura di Alberto Clò. Bologna, Il Mulino, 1986. In 8°, pp. 388 (2). Br. edit.  
*Viene argomentata, per la prima volta (l'edizione originale americana è del 1983) l'impossibilità di una indipendenza energetica, anche per i Paesi produttori di combustibili fossili, in un mondo che procede verso la globalizzazione.*
24. (1987) **AA. VV.** *L'energia del terzo millennio. Le relazioni al seminario di Frattocchie di Alfredo Reichlin, Ugo Farinelli, Lucio Libertini, Andrea Margheri, Vittorio Silvestrini, Eugenio Tabet, Aldo Zanardo e Gian Battista Zorzoli.* Roma, Editrice l'Unità, 1987. In 16°, pp. 176. Br. edit.  
*Il Gotha dei comunisti italiani dell'energia, riuniti a Frattocchie dopo Chernobyl per discutere del futuro.*
25. (1987) **Rubbia Carlo** (con Nino Crescenti) *Il dilemma nucleare.* Torino, Sperling & Kupfner Editori, 1987. In 8°, pp. (6) 185 (1). Tela edit. con sovrac. illustr.  
*Il conseguimento di un premio Nobel non è condizione necessaria e sufficiente per definire una politica energetica di uno Stato.*
26. (1988) **Colombo Umberto, Farinelli Ugo e Valant Paolo** *Uso e scelta delle fonti energetiche.* Roma, Editori Riuniti. Prima edizione: maggio 1988. In 16°, pp. 184 (6). Br. edit.  
*A valle del referendum del 1987, il presidente dell'ENEA e due dei suoi più diretti collaboratori, ritornano sul vecchio dilemma: energia nucleare sì o no? Molto ben documentato e con qualche anticipazione "visionaria" sull'estrazione del petrolio da sabbie asfaltiche, olii extra densi e scisti bituminose.*
27. (1988) **Guerci Carlo Mario e Zanetti Giovanni** *Sviluppo economico e vincolo energetico.* Bologna, Il Mulino, 1988. Collana della Società Italiana degli Economisti. In 8°, pp. 195 (1). Br. edit.  
*Raccolta di scritti di diversi economisti italiani su questioni di modellistica energetica, dinamica dei prezzi delle materie prime energetiche, peso dell'innovazione tecnologica sul problema energetico, indipendenza e interdipendenza energetica. Quanto riportato in quarta di copertina resta drammaticamente attuale 26 anni dopo! "La necessità di una crescita equilibrata e duratura per superare la persistenza di elevati livelli di disoccupazione e le situazioni di sottosviluppo, impongono un'attenta*
28. (1988) **AA. VV.** *Piano Energetico Nazionale. Testo integrale dello schema di Piano Energetico Nazionale elaborato dal comitato tecnico per l'energia, sotto la presidenza del ministro dell'industria Adolfo Battaglia, e approvato dal Consiglio dei Ministri il 10 agosto 1988.* Roma, Stampa Janusa, 1988. Estratto da Notiziario dell'ENEA - Energia e Innovazione, n. 8 e 9 del 1988. In 4°, pp. 17-93 (3). Br. edit.  
*L'ultimo documento programmatico italiano a fregiarsi dell'appellativo "Piano Energetico" predisposto da un Comitato tecnico per l'Energia costituito il 15 ottobre 1987.*
29. (1989) **Ippolito Felice** *Energia, ieri, oggi e domani.* Roma, Editori Riuniti. 1° edizione: luglio 1989. In 16°, pp. 110. Br. edit.  
*Linee per una politica energetica a medio e lungo termine per l'Italia sulla base di una personale convinzione: " ... l'incidente di Chernobyl non può avere alcuna conseguenza sulle direttrici storiche dello svolgimento della nostra civiltà industriale o post industriale che sia, perché non può intaccare la conclusione cui già da tempo si è pervenuti, che l'energia nucleare rappresenti l'unica risorsa energetica del futuro e che abbia una certezza di approvvigionamento ed una validità tecnica". Quasi un atto di fede!*

30. (1989) **Wieviorka Michel et Trinh Sylvaine** Le modèle EDF. Essai de sociologie des organisations. Paris, Editions de la Découverte, 1989. In 8°, pp. 273 (3). Br. edit. illustr.  
*Ernesto Rossi (Elettricità senza baroni. Bari, Laterza, 1962, pag. 55 e seguenti) affermava: "Nulla, nella vita pratica, è bene, e nulla è male in senso assoluto. Ogni cosa ha un diverso significato e un diverso valore a seconda delle circostanze cui si accompagna ed a seconda del più o del meno ... Le ferrovie italiane furono nazionalizzate con le leggi del 21 aprile 1905 e del 15 luglio 1906. A tali date non era presidente del consiglio in Italia né Lenin, né Stalin, né Krusciov; ma l'on. Fortis e l'on. Giolitti ... L'industria elettrica è stata completamente nazionalizzata in Inghilterra fin dal 1947. È un paese a regime totalitario anche l'Inghilterra?" Mutatis mutandis, 43 anni dopo la nazionalizzazione del settore elettrico francese e la creazione di Electricité de France e alla vigilia del processo di liberalizzazione e privatizzazione del settore elettrico in Europa, Wieviorka e Trinh analizzano un modello organizzativo aziendale che, di tutta evidenza, non è più adeguato agli obiettivi della politica energetica di settore e collegano questa osservata obsolescenza alla crisi della socialdemocrazia alla francese. Molto ben documentato.*
31. (1991) **MAILLARD Dominique** (sous la direction de) L'énergie nucléaire en 110 questions. Paris, Editions de l'Industrie, s.d. In 8°, pp. 211 (1). Br. edit.  
*Terza edizione (la prima è del 1991) di questa sorta di manuale articolato in dodici capitoli in cui sono spalmate 110 domande ed altrettante risposte, ritenute fondamentali per la comprensione dei differenti aspetti dell'uso dell'energia nucleare da fissione per la produzione di energia elettrica. Fruibile anche da non specialisti. Corredato da illustrazioni fotografiche e da un glossario. Dominique Maillard è stato direttore generale per l'energia al ministero dell'industria francese.*
32. (1994) **Venanzi Francesco e Faggiani Massimo** (a cura di) ENI: un'autobiografia. Prefazione di Giorgio Bocca. Torino, Sperling & Kupfer, 1994. In 8°, pp. XVI + 431 (1). Br. edit.  
*La storia di una grande impresa raccontata dagli uomini di Enrico Mattei. Una curiosità: 19 dei 46 autori di questo libro sono laureati in giurisprudenza, tra cui: Giorgio Ruffolo, Eugenio Cefis, Mario Pirani, Marcello Colitti, Sabino Cassese e Piero Bernardini.*
33. (1994) **Loizzo Paolo** Le centrali nucleari. Ovvero, il diavolo che non c'è. Vibo Valentia, Monteleone, 1994. In 8°, pp. 253 (3). Cartoncino edit. illustr.  
*Pregi e difetti delle centrali nucleari e scelte politiche in diversi Paesi del Mondo, ad opera di un grande specialista che ha lavorato su tutti i reattori progettati, costruiti e valutati in Italia.*
34. (1996) **Colombo Umberto** Energia. Storia e scenari. Roma, Donzelli, 1996. In 16°, pp. 160. Br., edit.  
*Tentativo di divulgazione di impostazione classica.*
35. (1997) **De Paoli Luigi** (redazione a cura di) Commissione Consultiva per l'Individuazione dei Metodi, delle Procedure, delle Priorità e delle Scelte di Merito più Idonee al Fine di Promuovere la Liberalizzazione nel Mercato Italiano dell'Energia, la Progressiva Concorrenza tra Produttori, le Migliori Garanzie a Favore degli Utenti e della Tutela Ambientale. Documento conclusivo pubblicato sulla rivista "Economia delle fonti di energia e dell'ambiente". Milano, Franco Angeli, 1997, vol. 40. In 16°, pp. 199-239. Br. edit.  
*Il 28 gennaio 1997 la Commissione Consultiva di cui al titolo, istituita presso il Ministero dell'Industria con decreto ministeriale 24 settembre 1996, conclude i suoi lavori approvando all'unanimità un documento di linee guida per la riforma del settore elettrico italiano. La Commissione era presieduta dal senatore Umberto Carpi e partecipata da tecnici del settore, tra i quali il prof. Luigi de Paoli assicurava il ruolo di coordinatore tecnico scientifico. Significativo esempio di buona pratica nel processo di assunzione di decisioni di politica energetica. L'azione tecnica prelude a quella politica con un feedback di controllo iterativo con gli altri attori del mercato prima di convergere su di un testo di legge definitivo (il decreto legislativo n° 79 del 16 marzo 1999 co-*

siddetto “decreto Bersani”, dal nome del ministro dell’industria sotto la cui responsabilità è stato redatto). Solo a questo titolo si è deciso di inserire questo testo nella bibliografia, ancorché non si tratti di un libro, ma di un lungo articolo pubblicato su una rivista specializzata.

36. (1999) **Bolchini Piero** (a cura di) Storia delle aziende elettriche municipali. Bari, Laterza, 1999. In 8°, pp. VIII + 828. Tela edit. con sovrac. illustr. *Ponderosa, esaustiva opera sull’argomento.*
37. (1999) **De Paoli Luigi e Lorenzoni Arturo** (a cura di) Economia e politica delle fonti rinnovabili e della cogenerazione. Milano, Franco Angeli, 1999. Collana “Economia e politica dell’energia e dell’ambiente” diretta da Luigi De Paoli, Giorgio Giorgetti e Sergio Vaccà. In 8°, pp. 384. Br. edit. *In lingua italiana, è uno dei migliori testi di riferimento sull’argomento, a cura di specialisti dell’Istituto di Economia delle Fonti di Energia (IEFE) dell’Università Bocconi di Milano. Impostazione classica da economisti di mercato: ragioni e criteri per un intervento pubblico a sostegno di fonti rinnovabili, cogenerazione e risparmio energetico; confronto dei costi di produzione dell’energia elettrica da diverse fonti; stima dei costi esterni; strumenti di sostegno in un mercato in corso di liberalizzazione; le lezioni del passato; esperienze negli altri Paesi europei ed in California; scenari. Manca un*
- executive summary; la premessa (presentazione) di De Paoli non va in tal senso, mettendo in non poche difficoltà i decisori politici che, di solito, non hanno tempo e competenze sufficienti per operare una sintesi di un così corposo lavoro.*
38. (2003) **Testa Chicco** ENEL 1996 - 2002. Dal monopolio al mercato. Cronaca ragionata di una trasformazione. A cura di Simone Bemporad. Santarcangelo di Romagna, Maggioli editore, 2003. In 8°, pp. 292. Br. edit. illustr. *Diversi contributi di personale dell’ENEL che ha partecipato, a diverso titolo, il processo di liberalizzazione e privatizzazione del settore elettrico italiano.*
39. (2003) **Menna Pietro** L’energia pulita. Bologna, Il Mulino, 2003. Collana “Farsi un’idea” (93). In 16°, pp. 137 (5). Br. edit. *Tentativo di divulgazione delle fonti rinnovabili di energia, con un paragrafo sulle politiche nazionali ed internazionali relative al loro sfruttamento. L’autore, ingegnere, lavora presso la Direzione Generale dell’Energia della Commissione europea.*
40. (2005) **Stern Jonathan P.** The Future of Russian Gas and GAZPROM. Oxford, Oxford University Press, first published: 2005. In 8°, pp. XVII (I) + 270. Cartone edit. a stampa. *Sicuro riferimento sul tema della politica del gas naturale e dei rapporti tra Unione europea e Federazione Russa, ad opera di uno specialista del settore, che ha dedicato gran parte della sua attività di studio e ricerca al gas natu-*
- rale nell’Unione Sovietica prima e nella Federazione Russa a partire dal 1990. Analisi critica del Dialogo UE-Russia, del Trattato della Carta dell’Energia, dei negoziati UE-Russia-WTO. Molto ampie le note e le citazioni bibliografiche. Infine, una bibliografia selezionata sul tema specifico.*
41. (2005) **Jaccard Mark** Sustainable Fossil Fuels. The unusual suspect in the quest for clean and enduring energy. Cambridge, Cambridge University Press, first published: 2005. In 8°, pp. XVI + 381 (1). Br. edit. illustr. *Professore canadese in Vancouver, Jaccard affronta gli obiettivi della politica energetica (sicurezza degli approvvigionamenti, competitività delle imprese e sostenibilità) valutando le opportunità di risorsa e di filiera su basi storiche, economiche, tecnologiche e sociali. Rigoroso ed ironico nel linguaggio (is sustainable energy sustainable?) il testo offre una originale visione del come si possano conciliare i tre obiettivi della politica energetica, apparentemente contrastanti. Una voce fuori dal coro degli specialisti dell’IPCC, il che gli è valso non poche polemiche. Molto vasta la bibliografia citata.*
42. (2006) **Maugeri Leonardo** L’era del petrolio. Mitologia, storia e futuro della più controversa risorsa del mondo. Milano, Feltrinelli, ottobre 2006. Collana “Serie Bianca”. In 8°, pp. 328 (4). Br. edit. illustrata. *Un’altra storia del petrolio, dal colonnello Drake (Pennsylvania occidentale, 1859) all’Iraq del*

dopo Saddam, ad opera di un dirigente ENI animato da un certo ottimismo circa l'ineluttabilità dei cicli volatili del prezzo del petrolio, ancora per molti decenni a venire.

43. (2007) **Paganetto Luigi** (a cura di) *Rischio energia. Efficienza energetica e ruolo dei consumatori*. Roma, Donzelli, 2007. In 16°, pp. VII (I) + 151 (1). Br. edit. *Nominato Presidente dell'ENEA, il prof. Paganetto ritiene opportuno presentare le sue idee sulla politica energetica italiana con particolare riguardo all'efficienza energetica. Seguono due altri punti di vista (Impresa e Centro di Studi Economici ed Internazionali) ed il resoconto di un dibattito tra specialisti del settore, sul tema "L'energia e il caso Italia", animato da un noto giornalista televisivo. Il tutto, in estrema sintesi.*
44. (2008) **Clò Alberto** *Il rebus energetico. Tra politica, economia e ambiente*. Bologna, Il Mulino, 2008. In 16°, pp. 232 (8). Br. edit. *Sgombrare il campo dai luoghi comuni per arrivare a quei sani*

*compromessi che da soli consentono di fare qualche passo in avanti. È in questo spirito che il prof. Clò fa uso abbondante della preposizione "tra" nel suo testo, sin dal sottotitolo: tra politica, economia e ambiente; e quindi, il nucleare tra aspettative e realtà; il caso italiano tra vecchi opportunismi e nuove illusioni; mercati energetici tra liberalizzazioni e concentrazione; la concentrazione tra efficienza e concorrenza. L'autore è stato ministro dell'industria nel Governo Dini dal gennaio 1995 al maggio 1996; potremmo dire, tra tecnocrazia e politica?*

45. (2009) **Casertano Stefano** *Sfida all'ultimo barile. Russia e Stati Uniti per il dominio dell'energia*. Milano, Francesco Brioschi Editore, 2009. In 8°, pp. XX + 294 (4). Br. edit. *Ancora una storia degli idrocarburi, rivisitata ed aggiornata da un giovane brillante ricercatore.*
46. (2012) **Furfari Samuele** *Politique et Géopolitique de l'Énergie. Une analyse des tensions internationales au XXIe siècle*.

Paris, Editions Technip, 2012. In 8°, pp. 454 (2). Br. edit. *Funzionario italiano alla Commissione europea, da oltre trent'anni continuativamente alla Direzione Generale dell'Energia, Samuele Furfari, ingegnere, riorganizza in questo testo le sue lezioni al corso di Geopolitica dell'energia di cui è incaricato presso la Scuola Politecnica dell'Università Libera di Bruxelles. Nonostante il disclaimer all'inizio del volume pretenda che l'autore si esprima a titolo personale, è evidente che trent'anni di militanza alla Commissione europea hanno decisamente orientato il suo pensiero. Da questo punto di vista, risulta interessante la visione globale della tecnocrazia europea in particolare sulle questioni di geopolitica dell'energia. Tra l'altro, il funzionamento dell'OPEC e dell'AIE, la Comunità dell'Energia di Balcani, la politica di vicinato, Caucaso e regione del Caspio, sponda sud del bacino del Mediterraneo.*

Dario Chello  
ENEA, Unità Tecnica Efficienza Energetica

## note

1. Umberto Eco, "La Memoria Vegetale", Milano, Edizioni Ravello, 1992.
2. Guerriera Guerrieri, "Linee di biblioteconomia e bibliografia", Napoli, Guida editori, 1973.
3. Norberto Bobbio, "Dizionario di Politica", Torino, UTET, 1976.
4. Investment from one country into another (normally by companies rather than governments) that involves establishing operations or acquiring tangible assets, including stakes in other businesses. (ft.com/lexicon).

# La ‘grande bellezza’ dei numeri figurativi

Partendo da un aneddoto giovanile del “Principe dei Matematici” Gauss, proponiamo un sorprendente viaggio nel mondo dei “numeri figurativi”, le cui insolite proprietà consentono di trovare eleganti soluzioni ad alcuni problemi di calcolo numerico e combinatorio, passando per la probabilità di vincita nei giochi d’azzardo e per i “numeri perfetti”, fino ad arrivare al controverso concetto di infinito e alla diversa cardinalità degli insiemi infiniti.

La trattazione è divulgativa ma rigorosa, introduce i vari argomenti in modo elementare e non richiede al lettore conoscenze approfondite di matematica. Sullo sfondo delle applicazioni pratiche, risalta la bellezza estetica e l’eleganza delle proprietà dei numeri figurativi

DOI 10.12910/EAI2014-105

■ P. Di Lazzaro, D. Murra

*“Tutto è numero. Il numero è in tutto. Il numero è nell’individuo. L’ebbrezza è un numero”*

Charles Baudelaire, 1883

Se provate a domandare a studiosi di matematica o a semplici appassionati quale sia il più grande matematico della storia moderna, la risposta più frequente sarà “Carl Friedrich Gauss”. In effetti, Gauss (1777–1855) è stato autore di dimostrazioni di teoremi fondamentali e i suoi studi hanno dato straordinari impulsi all’evoluzione di diversi campi nelle scienze matematiche e fisiche [1].

Sin dalla tenera età, Gauss ha dimostrato un talento precoce. In particolare, un aneddoto narra che nel 1786 un insegnante di matematica della scuola di Braunschweig, tale Büttner, forse allo scopo di tenere impegnati e silenti gli studenti di una scolaresca, assegnò come compito in classe il calcolo della somma dei primi 100 numeri interi. Calcolare le 99 somme richiedeva un tempo notevole, con un’elevata probabilità di incorrere in errore per stanchezza, a dispetto della facilità delle singole operazioni. Sfortunatamente per il professore, uno degli scolari era Gauss, il quale impiegò pochi minuti per calcolare la somma finale esatta, pari a 5050, tra lo stupore dei compagni e dello stesso insegnante [2].

Come ha fatto Gauss a trovare la somma totale? Si trattava forse di 99 addizioni calcolate ad una velocità straordinaria? In realtà Gauss fece solo poche somme a mente, e girò intorno al problema trovando una soluzione brillante e rapida, di grande bellezza ed eleganza. Scrivendo i numeri da 1 a 50 su una riga da sinistra a destra, e poi i numeri da 51 a 100 in una seconda riga da destra a sinistra, otteniamo:

1	2	3	4	5	.....	46	47	48	49	50
100	99	98	97	96	.....	55	54	53	52	51

Gauss osservò che la somma di ciascuna coppia di numeri in colonna dà sempre lo stesso risultato, pari a 101. Si tratta di 50 somme, ciascuna delle quali è pari a 101, quindi la somma totale dei primi cento numeri è data da  $50 \times 101 = 5050$ .

Contact person: Paolo Di Lazzaro  
paolo.dilazzaro@enea.it

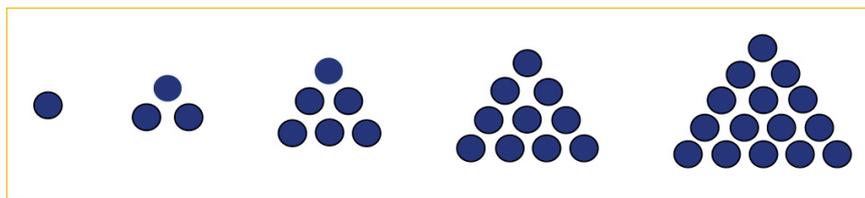


Nello schema precedente, dato  $N = 100$ , abbiamo moltiplicato  $N+1 = 101$  per la metà di  $N$ : possiamo quindi ottenere la formula generale che fornisce la somma  $S$  dei primi  $N$  numeri, per  $N$  qualunque, che per ovvi motivi è detta “Formula di Gauss”:

$$S = \frac{N \times (N+1)}{2} \quad (1)$$

Semplice ed elegante, non trovate? Sembra tutto facile ma, come recita un aforisma di Szent-Gyorgy, “Lo scoprire consiste nel vedere ciò che tutti hanno visto, e nel pensare ciò che nessuno ha pensato.”

Bisogna precisare che Gauss non fu il primo a scoprire la formula (1) che porta il suo nome, essendo questa già nota ai tempi della Scuola Pitagorica [3]. Gauss ha il merito di avere dedotto questa formula senza conoscerla, mostrando uno straordinario talento che lo avrebbe consacrato in seguito tra i più grandi matematici di ogni tempo. Intorno al quinto secolo a.C. i Pitagorici [3] scoprirono che la somma dei primi  $N$  numeri viene data da una particolare classe di numeri figurativi o poligonali, i cosiddetti “numeri triangolari”. Di cosa si tratta? I pitagorici formavano le figure geometriche usando dei sassolini. Nel caso di una successione di triangoli, aggiungendo una riga di sassolini al triangolo precedente si ottiene la Figura 1.



**FIGURA 1** Rappresentazione figurativa dei primi cinque numeri triangolari. Ad eccezione del primo numero, 1, si tratta di poligoni di tre lati (triangoli) da cui il nome

La prima forma nella Figura 1 è una sola pallina corrispondente al numero 1.

La seconda forma è un triangolo ottenuto aggiungendo due palline in basso al pallino precedente: in tutto abbiamo  $1+2 = 3$  palline.

La terza è un triangolo ottenuto aggiungendo 3 palline in basso al triangolo precedente: in tutto abbiamo  $3+3 = 6$  palline.

La quarta è un triangolo ottenuto aggiungendo 4 palline in basso al triangolo precedente:  $6+4 = 10$ .

La quinta è un triangolo ottenuto aggiungendo 5 palline in basso al triangolo precedente:  $10+5 = 15$ .

A questo punto possiamo intuire come funziona la serie dei numeri triangolari: bisogna sommare al numero precedente il numero corrispondente all’ordine del numero. Ad esempio, se vogliamo aggiungere nella Figura 1 il sesto triangolo, esso sarà fatto di  $15+6 = 21$  palline, il settimo di  $21+7 = 28$  palline, e così via.

Nella Tabella 1 riportiamo la serie

dei primi quindici numeri triangolari.

Dalla tabella notiamo che si tratta di una serie formata da due numeri dispari alternati a due numeri pari. Proprio per come è costruita la serie, l’ $N$ -esimo numero triangolare è uguale alla somma dei primi  $N$  numeri. Ad esempio, dalla Tabella 1 leggiamo che il decimo numero triangolare è 55, che è uguale alla somma dei primi 10 numeri: infatti,  $1+2+3+4+5+6+7+8+9+10 = 55$ . Ovviamente, la formula (1) con  $N=10$  fornisce lo stesso risultato.

Rammentando l’aneddoto giovanile di Gauss, non c’è da stupirsi se dieci anni dopo, nel 1796, il diciannovenne Gauss scoprì una sorprendente proprietà dei numeri triangolari: “tutti i numeri naturali positivi sono sempre rappresentabili come somma di non più di tre numeri triangolari”.

Andiamo a vedere in dettaglio questa insolita proprietà. Prendiamo un numero qualunque, ad esempio 199. Abbiamo che  $199 = 1+78+120$ ,

Ordine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Numero Triangolare	1	3	6	10	15	21	28	36	45	55	66	78	91	105	120

**TABELLA 1** I primi quindici numeri triangolari

la somma di tre numeri triangolari, vedi la Tabella 1. Proviamo con un altro numero a caso, il 73:  $28+45 = 73$ , dove sia 28 sia 45 sono numeri triangolari. Oppure con 14:  $10+3+1 = 14$ . Provate anche voi, potete scegliere qualunque numero intero, pari o dispari, comunque grande o piccolo, purché sia maggiore di 1: il numero scelto si può sempre ottenere dalla somma di due o di tre numeri triangolari, eventualmente ripetuti, come nel caso  $20 = 10+10$ . Si tratta di una proprietà straordinaria, a pensarci bene.

Si può dimostrare per quale motivo un numero qualunque maggiore di uno è sempre esprimibile tramite somma di due o di tre numeri triangolari? Gauss non rese subito pubblica questa scoperta, ma la tenne per sé, scritta in un appunto [4]. Gauss era un perfezionista, e non pubblicava le sue scoperte a meno che non fossero accompagnate da dimostrazioni rigorose. Il suo motto era *Pauca sed matura* (poche cose ma ben sviluppate). Solo qualche anno dopo Gauss pubblicò una dimostrazione indiretta nell'ambito di uno studio sulle forme quadratiche (vedi la nota nella referenza [4] per una sintesi della dimostrazione).

Diversi anni più tardi, nel 1813, il matematico francese Augustin Cauchy pubblicò la soluzione per il caso generale, conosciuto come il *Teorema di Fermat sui numeri poligonali*, per il quale "qualunque numero intero può essere scritto come somma di al più  $n$  numeri poligonali di  $n$  lati" [5]. Il nostro caso rientra in questo teorema perché i numeri triangolari sono numeri poligonali aventi  $n=3$  lati (vedi la Figura 1) e

quindi, d'accordo con il teorema di Fermat, qualsiasi numero intero può essere scritto come somma di "al più"  $n=3$  numeri triangolari.

Ma le sorprese non si fermano qui. Proviamo a sommare due numeri triangolari vicini, in riferimento alla serie dei primi numeri triangolari in Tabella 1:  $1+3 = 4$ ;  $6+3 = 9$ ;  $6+10 = 16$ ;  $10+15 = 25$ ;  $15+21 = 36$ ;  $21+28 = \dots$  e così via.

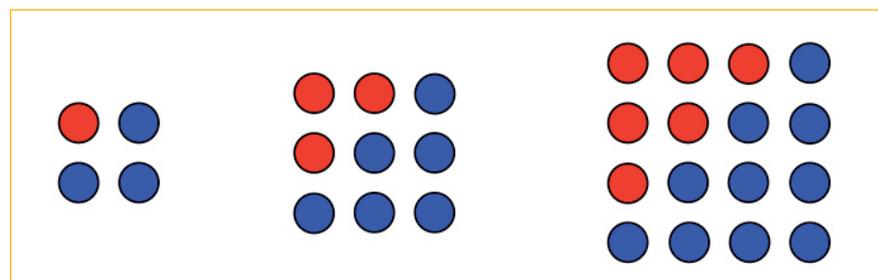
Osserviamo che la somma di due numeri triangolari successivi è sempre il quadrato del numero di ordine del numero triangolare più grande! Ad esempio, la somma del primo e del secondo numero triangolare è pari a  $2^2$ ; la somma del secondo e del terzo è pari a  $3^2$ ; la somma del terzo e del quarto è  $4^2$ , la somma del quarto e del quinto è  $5^2$ , e così via. Sorprendente, ed elegante.

La dimostrazione di questa proprietà si può ottenere usando di nuovo la rappresentazione figurativa-polygonale della Scuola Pitagorica [3]. Se nella Figura 1 sommiamo i pallini dei triangoli vicini, otteniamo la Figura 2. La Figura 2 mostra che la somma di due numeri triangola-

ri vicini forma sempre un quadrato di lato pari al numero di ordine del numero triangolare più grande. Quindi si tratta della successione di numeri quadrati di lato 2, 3, 4, 5, 6... rispettivamente pari a 4, 9, 16, 25, 36... palline.

In alternativa, questa proprietà si può dimostrare anche partendo dalla formula di Gauss (equazione 1) e addizionando due valori consecutivi, ovvero la somma dei primi  $N$  numeri e la somma dei primi  $N+1$  numeri. Il risultato, come abbiamo già visto nella Figura 2, è pari a  $(N+1)^2$ , ma lasciamo al lettore la soddisfazione di eseguire i semplici passaggi intermedi della dimostrazione.

I numeri triangolari ci vengono in aiuto come soluzione di un classico problema di calcolo combinatorio, il cosiddetto "problema delle strette di mano". In un gruppo di persone, se ciascuno stringe la mano una sola volta a tutti gli altri, quante strette di mano ci saranno in tutto? Partiamo dal caso più semplice. Se ci sono due persone, diciamo che si chiamano Andrea e Bianca, ovviamente ci sarà una sola stretta



**FIGURA 2** Rappresentazione figurativa della somma dei primi numeri triangolari adiacenti della Figura 1. Gli addendi più grandi di ciascuna somma sono distinti con il colore blu. Otteniamo, in totale, la rappresentazione figurativa dei primi tre "numeri quadrati", ovvero numeri figurativi-polygonali di quattro lati, rispettivamente uguali a  $2^2 = 4$ ;  $3^2 = 9$ ;  $4^2 = 16$

di mano, Andrea con Bianca, e per brevità scriviamo A-B.

Se si aggiunge Carla, avremo A-B, A-C, B-C, quindi 3 strette di mano. Se arriva anche Damiano, avremo A-B, A-C, B-C, A-D, B-D, C-D, quindi 6 strette di mano. All'arrivo della quinta persona, Ennio, avremo 10 strette di mano, precisamente A-B, A-C, B-C, A-D, B-D, C-D, A-E, B-E, C-E, D-E.

Se continuano ad arrivare nuove persone, scopriamo che il numero di strette di mano segue la serie dei numeri triangolari: 1, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36, e così via, ricordate la Tabella 1?

In generale, se il gruppo è formato da  $n$  persone e ciascuna persona stringe le mani a tutti meno che a se stesso, ci sono  $n-1$  strette di mano per  $n$  persone:  $n \times (n-1)$ . Tuttavia, in questo modo viene conteggiata due volte la stretta di mano tra le stesse persone, ad esempio viene contata sia A-B sia B-A, e per correggere questo doppio conteggio bisogna dividere il termine precedente per 2. Quindi, il numero  $SM$  di strette di mano di un gruppo di  $n$  persone è dato da

$$SM = \frac{n \times (n-1)}{2} \quad (2)$$

L'equazione (2) permette di conoscere il numero di strette di mano tra un qualsiasi numero  $n$  di persone senza dover scrivere tutte le combinazioni, e abbiamo visto che  $SM$  è sempre un numero triangolare.

Curiosamente, in questo caso la soluzione ad un problema crea un altro problema. Infatti, come è possibile che le equazioni (1) e (2), ovviamente diverse tra loro, siano

entrambe generatrici della stessa serie dei numeri triangolari?

Il motivo va ricercato nelle condizioni a contorno del problema. Per avere strette di mano bisogna essere almeno in 2. Infatti, dall'equazione (2) quando  $n=1$  abbiamo  $SM=0$  e quando  $n=2$  abbiamo  $SM=1$ . Viceversa, nell'equazione (1) quando  $N=1$  abbiamo  $S=1$ . In altre parole, per avere  $n$  strette di mano abbiamo bisogno di  $N+1$  persone. Quindi, se sostituiamo  $n=N+1$  nell'equazione (2) otteniamo la stessa equazione (1). Provare per credere...

A questo punto ci appare assai meno strano che le equazioni (1) e (2) possano generare la stessa serie di numeri triangolari!

Il problema delle strette di mano fa parte di una classe di problemi di calcolo combinatorio di notevole importanza: ad esempio, trovare il numero di connessioni necessarie per formare un network tra  $n$  computer è analogo al caso delle strette di mano tra  $n$  persone e quindi la soluzione è data anch'essa dall'equazione (2). Per esempio, se voglio formare un network di  $n=12$  computer, l'equazione (2) mi dice che ho bisogno di 66 connessioni, e 66 è il  $(12-1)$ -esimo = undicesimo numero triangolare, vedi la Tabella 1.

Il calcolo combinatorio è di basilare importanza in molti calcoli statistici per applicazioni pratiche, perché permette di conoscere quante combinazioni di un certo numero di elementi si possono ottenere all'interno di un insieme di cui si conosce il numero totale di elementi. Trovare quante combinazioni  $P$  di

$M$  elementi su un totale di  $N$  elementi vuol dire, ad esempio, trovare quante diverse bandiere di 3 colori ( $M=3$ ) posso realizzare avendo a disposizione 10 colori ( $N=10$ ). Il calcolo combinatorio ci dice che il numero  $P$  delle possibili combinazioni di  $M$  elementi in un insieme totale di  $N$  elementi (quindi  $N$  è maggiore di  $M$ ), è dato dalla seguente equazione:

$$P = \frac{N!}{M!(N-M)!} \quad (3)$$

dove  $N!$  (che si legge "N fattoriale") è dato dal prodotto di  $N$  per tutti i numeri che vanno da 1 fino ad  $N-1$ , ovvero:

$N! = N \times (N-1) \times (N-2) \times (N-3) \times \dots \times 2 \times 1$   
Ad esempio, se nell'equazione (3) poniamo  $M=2$ , otteniamo  $P = N \times (N-1)/2$ , identica all'equazione (2) che permette di calcolare il numero delle strette di mano: infatti, in questo caso  $P$  è il numero di possibili combinazioni di  $M=2$  persone che si stringono la mano all'interno di un gruppo di  $N$  persone. Nel caso delle bandiere di 3 colori su 10 colori a disposizione, l'equazione (3) fornisce il numero di combinazioni  $P=120$ . Infatti,

$$P = \frac{10!}{3!(10-3)!} = \frac{10!}{3! \times 7!} = \frac{10 \times 9 \times 8}{3 \times 2 \times 1} = 120.$$

A parte il calcolo delle strette di mano, delle connessioni ai computer, delle bandiere colorate diverse tra loro, a cosa serve calcolare il numero di combinazioni possibili? A risparmiare denaro evitando di giocare d'azzardo! Se, ad esempio, un lontano parente ci appare in sogno suggerendo 5 numeri da giocare al lotto, è probabile che il

giorno dopo, di buon mattino, ci recheremo alla ricevitoria più vicina per giocare i 5 numeri convinti di avere molte probabilità di brindare alla vittoria. Ma qual è la probabilità oggettiva di indovinare i 5 numeri, ovvero di fare cinquina?

Ecco che ci viene in soccorso l'equazione (3). Se scommettiamo sull'estrazione di 5 numeri sui 90 possibili, la probabilità di fare cinquina è pari ad 1 combinazione (quella scelta da noi) su tutte le combinazioni di  $M=5$  numeri presi da un insieme di  $N=90$  numeri. Sostituendo nell'equazione (3)  $M=5$  e  $N=90$  otteniamo il numero  $P$  di possibili cinquine tra un gruppo di 90 numeri:

$$P = \frac{90!}{5!(90-5)!} = \frac{90!}{5! \times 85!} = \frac{90 \times 89 \times 88 \times 87 \times 86}{5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1} = 43.949.268.$$

Quindi, le possibili cinquine sono poco meno di 44 milioni, e solo una di queste corrisponde alla nostra cinquina!

E la probabilità di fare 6 al Superenalotto giocando 6 numeri? La formula (3) ci dice che abbiamo una sola probabilità su più di 622 milioni di combinazioni, e questo vuol dire che se giochiamo due combinazioni alla volta, in ciascuna delle tre estrazioni settimanali, dobbiamo aspettare circa 2 milioni di anni prima di avere la quasi certezza di vincere... per non parlare di altri effetti collaterali, vedi la Figura 3. Il calcolo della probabilità di fare ambo o terno è un po' più complicato, ma si parte sempre dalla formula (3), che è alla base del calcolo combinatorio.

Chiudiamo la parentesi combi-

natoria, per tornare alle curiose proprietà dei numeri triangolari. I numeri sono belli per questo: sono tanti, anzi infiniti, e le loro caratteristiche sorprendenti. Un esempio? "Tutti i numeri perfetti sono anche triangolari."

E che cos'è un numero perfetto – chiederete voi – un numero che merita l'epiteto di "perfetto" deve avere proprietà straordinarie, quindi ce ne dovrebbero essere pochi... Giudicate voi se l'epiteto è meritato. Per definizione, "Un numero naturale si dice perfetto quando è uguale alla somma dei suoi divisori propri." Ad esempio, 6 si può dividere per 1, per 2, e per 3. Al tempo stesso,  $6 = 1+2+3$ . Quindi 6 è un numero

perfetto. Il numero perfetto successivo è 28: infatti  $28 = 1+2+4+7+14$  e gli addendi sono i divisori di 28. Notate che sia 6, sia 28 sono numeri triangolari, vedi la Tabella 1. Ma non è facile trovare dei numeri che abbiano questa peculiare caratteristica, e di conseguenza i numeri perfetti sono meno "frequentati" di quelli triangolari. Infatti, dopo 6 e 28 il terzo numero perfetto è 496 (che è anche il trentunesimo numero triangolare), il quarto è 8.158, il quinto 33.550.336, il sesto numero perfetto è un numero superiore a otto miliardi e mezzo... Insomma, sembra evidente che i numeri perfetti siano assai meno numerosi (diciamo che sono un piccolo sottoinsieme) dei numeri triangolari.

Ma è corretto affermare che i numeri perfetti siano meno numerosi?

Cerchiamo di ragionare: sappiamo che i numeri naturali sono infiniti, perché per qualunque numero  $N$ , comunque grande lo possiamo immaginare, ci sarà sempre  $N+1$ . Poiché ciascun numero naturale può essere associato ad un numero triangolare, vedi la Tabella 1 e l'equazione (1), anche i numeri triangolari sono infiniti. Dato che i numeri triangolari sono infiniti e tutti i numeri perfetti sono triangolari, possiamo affermare che anche i numeri perfetti sono infiniti? Forse sì, ma sinora nessuno lo ha ancora dimostrato in modo rigoroso: al giorno d'oggi, calcolatori particolarmente potenti hanno permesso di trovare solo i primi 42 numeri perfetti [6]. Gli altri, se esistono, sono semplicemente troppo grandi per essere calcolati.

Ipotizziamo per un momento che anche i numeri perfetti siano infiniti: come potremmo affermare che una quantità infinita di numeri sia minore di un'altra quantità infinita?



**FIGURA 3** Un cartello fotografato in una ricevitoria in provincia di Messina, in cui la saggezza popolare riassume le conseguenze e gli effetti collaterali di una vincita al superenalotto. Tratto da <https://www.flickr.com/photos/43698630@N00/1378380572/>

Si può dire che i numeri perfetti sono “un po’ meno infiniti” dei numeri triangolari, i quali a loro volta sono “un po’ meno infiniti” dei numeri naturali? In altri termini, gli infiniti sono tutti uguali o ce ne sono alcuni che sono più infiniti di altri? Chissà... Diversi matematici di

grande valore, da Georg Cantor (1874) a Kurt Gödel (1940) a Paul Cohen (1963), hanno ragionato a lungo su questi “diversi ordini di infinità”, o, più propriamente, sulla “diversa cardinalità” degli insiemi infiniti. La grande bellezza dei numeri, oltre che di eleganza e di

estetica, si nutre anche di problemi al limite del pensiero umano [7] e quando si parla di infinito, tutto può accadere!

Paolo Di Lazzaro, Daniele Murra  
ENEA

## note

- [1] Vedi, ad esempio, R. Tazzioli: Gauss Carl Friedrich: principe dei matematici e scienziato poliedrico, Collana I grandi della scienza, monografia n. 28, supplemento a Le Scienze vol. 410 (2002).
- [2] Il primo resoconto di questo aneddoto fu scritto da Sartorius nel 1856, un anno dopo la morte di Gauss. Sartorius scrive che il compito consisteva nel calcolo della somma di una serie, senza specificare i limiti della serie né la sua ragione (differenza tra i termini successivi). Il primo a scrivere che si trattava della serie da 1 a 100 di ragione 1 fu Bieberbach nel 1938. Un'interessante indagine sulle diverse versioni dell'aneddoto si può trovare in B. Hayes: *The Gauss's day of reckoning*, American Scientist, vol. 94, 200 (2006). <http://www.americanscientist.org/issues/pub/gauss-day-of-reckoning/1>
- [3] Nicomaco di Gerasa (60–120 d.C.) nell'opera *Αριθμητικὴ εἰσαγωγή* (Introduzione all'aritmetica) cap. XII, afferma che i Pitagorici scoprirono alcune semplici proprietà dei numeri figurativi mediante l'aritmogeometria. L'aritmogeometria consiste nel rappresentare i numeri naturali con configurazioni geometriche di punti (numeri figurati o poligonal). Questa opera è stata tradotta in inglese dalla casa editrice McMillan, vedi Nicomaco di Gerasa, *Introduction to arithmetic* (NY McMillan Co. 1926).
- [4] Nell'appunto di Gauss, sintetico e criptico ma allo stesso tempo inequivocabile, era scritto: EYPHKA! Num =  $\Delta + \Delta + \Delta$  (10.7.1796). Si tratta “solo” di un enunciato, ma Gauss pubblicò la dimostrazione 5 anni dopo, nell'ambito di uno studio sulle forme quadratiche ternarie, vedi: C.F. Gauss: *Disquisitiones Arithmeticae*, cap. V, art. 293 (Lipsiae, 1801). In sintesi, Gauss dimostrò che per ogni numero  $n$  intero positivo,  $8n+3$  è uguale alla somma di tre numeri dispari elevati al quadrato. Dalla dimostrazione di Gauss segue che:  $8n+3 = (2a+1)^2 + (2b+1)^2 + (2c+1)^2$ , dove  $a$ ,  $b$ , e  $c$  sono tre numeri interi positivi qualunque, e ovviamente  $(2a+1)$ ,  $(2b+1)$ , e  $(2c+1)$  sono sempre dispari. Sviluppando i quadrati nell'equazione (4) e semplificando, otteniamo:  $n = a(a+1)/2 + b(b+1)/2 + c(c+1)/2$ . Notiamo che ciascuno degli addendi è analogo alla formula di Gauss (1), quindi è un numero triangolare. Ne segue che qualunque numero  $n$  positivo intero può essere scritto come somma di tre numeri triangolari. Per un'accurata analisi storica che evidenzia anche i contributi di Fermat e di Legendre, suggeriamo L.E. Dickson: *History of the Theory of Numbers, Volume II: Diophantine Analysis* (Dover Publications, 2005) p. iv della prefazione e seguenti.
- [5] A. Cauchy: *Démonstration du théorème général de Fermat sur les nombres polygones* vol. VI (II Série) dell'opera *Oeuvres complètes* d'Augustin Cauchy, (Paris: Gauthier-Villars) pp. 320-353 (1905).
- [6] Vedi, ad esempio, C. Baudino: *I numeri perfetti* <http://webmath2.unito.it/paginepersonali/romagnoli/perfetti.pdf>
- [7] Per una elementare e divertente introduzione ad alcuni aspetti del concetto di infinito e di infinitesimo in matematica, vedi ad esempio H.M. Enzensberger: *Il mago dei numeri* (Einaudi, Collana Ragazzi, 2002).



## Un olio... veramente energetico

Solo in Italia ogni anno vengono prodotte in media 600 mila tonnellate di olio di oliva e le acque di vegetazione vengono in larga parte sparse al suolo. Il processo brevettato rappresenta una soluzione per fronteggiare l'impatto ambientale, evitare i costi di smaltimento e contemporaneamente produrre una miscela di gas combustibile

### A truly energetic kind of... oil!

An average of 600 million tons of olive oil are produced each year in Italy alone, and olive mill wastewater is mostly released on the soil. This patented process can be a solution to address the environmental impact issue and avoid land disposal costs, while producing a fuel gas mix

#### *The initial problem*

*The annual production of olive mill wastewater (OMW) accounts for millions of tons in Italy. As provided for in recent regulations, most of these wastewaters are released on farming soils in a controlled way and only minimally treated for reducing their polluting content.*

*OMW contains phenolic compounds and long-chain fatty acids, and are very contaminating (the pollution effect of 1 m<sup>3</sup> of OMW has been estimated to be equivalent to that of 200 m<sup>3</sup> of domestic sewage).*

*The land disposal of such waters costs 4 to*

### Il problema di partenza

In Italia le acque di vegetazione dei frantoi oleari vengono per la maggior parte sparse in maniera controllata su suoli destinati ad usi agricoli, come regolamentato dalle recenti normative, e solo in minima parte depurate.

Le acque di vegetazione contengono una componente organica ricca di oli, zuccheri e polifenoli, sono molto inquinanti (1 m<sup>3</sup> di acque di vegetazione ha il potere inquinante di 100-200 m<sup>3</sup> di acque reflue urbane).

Sebbene lo spargimento controllato sul terreno di queste acque presenti un costo dai 4 ai 10 € a metro cubo, eviti i costi di depurazione e abbia un effetto fertilizzante ed erbicida, vanno evidenziati alcuni aspetti negativi come l'alterazione della composizione dei terreni, il rischio di inquinamento delle falde, la difficoltà del rispetto della normativa in materia.

### L'invenzione

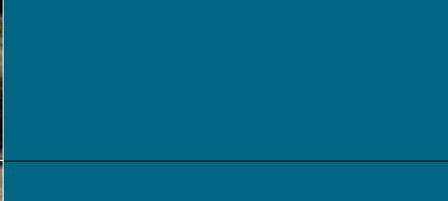
Ricerche svolte presso i laboratori ENEA di Frascati hanno evidenziato che le acque di vegetazione, se opportunamente pretrattate, possono essere usate per produrre una miscela gassosa, ricca di idrogeno, CO<sub>2</sub>, metano, CO e altri gas, da utilizzare per scopi energetici.

Il brevetto depositato dall'ENEA riguarda lo sviluppo di un processo per il trattamento delle acque derivanti dai processi di molitura delle olive, le cosiddette acque di vegetazione, la cui produzione annua in Italia ammonta a diversi milioni di tonnellate. Tale processo permette la produzione

**Patent No.:** RM2012A000548

**Title:** Processo di trattamento di acque di vegetazione di frantoi oleari mediante reazioni di reforming e relativo impianto

**Inventors:** Silvano Tosti, Mirko Sansovini



di una miscela di gas ricca di idrogeno e metano: in particolare, prove di laboratorio hanno permesso di produrre circa 18 m<sup>3</sup> di idrogeno da 1 m<sup>3</sup> di acqua di vegetazione.

Nel processo le acque di vegetazione dei frantoi vengono prima filtrate e concentrate e poi inviate in un reattore dove, attraverso una reazione di reforming viene prodotta la miscela gassosa. Nel caso venga utilizzato un reattore a membrana è possibile separare direttamente idrogeno ultra puro e ottenere rese di reazione molto elevate.

L'energia necessaria ad alimentare il processo di reforming, che incide notevolmente sui costi di gestione, può essere fornita dalla combustione delle sanse, dalla combustione dei gas prodotti e dai recuperi termici delle apparecchiature di processo.

### Vantaggi, applicazioni e interessi di mercato

Diversi i vantaggi conseguibili dal brevetto. Primo tra tutti è l'abbattimento delle acque di vegetazione molto inquinanti e la conseguente produzione di una corrente di gas combustibili da utilizzare per produrre calore o energia elettrica. Il processo, inoltre, utilizza componenti e tecnologie largamente applicati e di costo contenuto, presenta ridotti costi di gestione che essendo legati soprattutto ai consumi energetici, consentono di realizzare opportuni recuperi termici, utilizzando calore proveniente dalla combustione delle sanse e dalla combustione della corrente gassosa prodotta dal reformer. Il processo può essere applicato anche ad altri tipi di biomasse potenzialmente inquinanti quali le acque reflue dell'industria alimentare, come quelle prodotte dai caseifici.

Dal lato del mercato, i frantoi di piccole e medie dimensioni rappresentano il potenziale utilizzatore del brevetto dalla cui applicazione otterrebbero un ritorno di investimenti compensato dai costi evitati per lo smaltimento.

(a cura di Daniela Bertuzzi)



10 €/m<sup>3</sup>, has no purification costs and serves as fertilizer and herbicide. Nonetheless, some negative aspects have to be stressed: the soil composition can be altered, the water bodies risk to be contaminated, the relevant regulations are barely enforced.

#### The invention

Research carried out at the ENEA Frascati laboratories has demonstrated that, when properly treated, OMW can be used to produce a gas mix rich in hydrogen, CO<sub>2</sub>, methane, CO and other gases, useful for energy purposes.

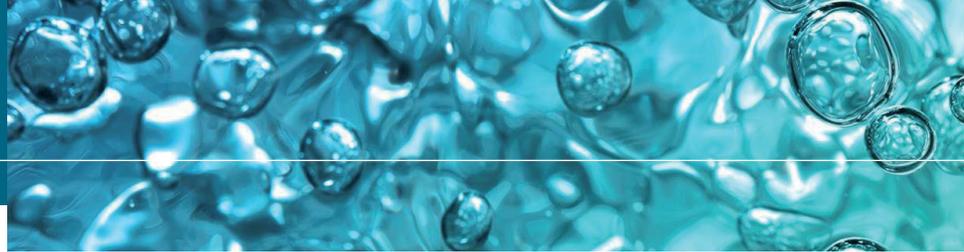
The patent registered by ENEA is about the development of a process for olive mill wastewater treatment, allowing to produce a gas mix rich in hydrogen and methane: specifically, approximately 18 m<sup>3</sup> of hydrogen have been produced from 1 m<sup>3</sup> of vegetable water during laboratory tests.

During this process, the OMW are first filtered and then conveyed into a catalytic reactor, where the gas mix is produced through a reforming reaction. If a membrane reactor is used, ultra-pure hydrogen can be directly separated obtaining higher reaction yields. The energy needed for the reforming process, heavily affecting the management costs, can be supplied by burning olive pomaces and the gases so produced, and by the thermal recoveries of process facilities.

#### Benefits, applications, and the market's interest

The patent allows to get several benefits. First in the rank is the reduction of phenols content of OMW and its valorization for producing fuel gases. Additionally, the process makes use of wide-application and low-cost components and technologies, and has low management costs mainly due to energy consumptions, which allow thermal recovery using the heat generated by burning olive pomaces and the fuel gases from the reformer. The process can be also applied to other biomass types potentially contaminating, such as the wastewater coming from food industry (e.g., dairy farms). On the market side, small- and medium-sized olive mills are the potential users of this patented process, since the complete absence of any disposal costs would offset the investment costs they have to bear for its application.

(translated by: Carla Costigliola)



## Il colore dell'acqua

Un innovativo analizzatore di liquidi estremamente versatile permette l'analisi colorimetrica e il monitoraggio delle acque in modo da poterne segnalare tempestivamente la contaminazione

### The colour of water

An innovative, extremely versatile liquid colour analyzer allows to perform the colorimetric analysis and monitoring of waters so that their possible contamination can be promptly reported

#### *The initial problem*

*The technologies and colour analyzers currently available on the market simply allow to detect the status of wastewater colour either by colorimetry or by spectrometry.*

*Colour measurement by colorimetric analysis is usually performed through "colour patterns", namely mathematical models allowing to represent colours in vector form, typically using three or four dimensions relating to the chromatic components.*

*Other methodologies to measure colour are based on the measurement of the equivalent "temperature": the temperature value is associated with a given chromatic characteristic, i.e. that of a black body when heated at a temperature producing the same optical chromatic effect. In several cases, the colorimetric analysis is performed with devices based on sphere reflectance spectrophotometers.*

*Such methodologies make use of a series of sensors which, in industrial environments, often cannot find applications with considerable adjustments when it comes to real-time monitoring and controlling of aqueous solutions.*

### Il problema di partenza

Le tecnologie e gli analizzatori di colore attualmente disponibili in commercio consentono semplicemente di determinare lo stato della colorazione delle acque reflue o per via colorimetrica o per via spettrometrica. La misura del colore, attraverso le tecniche di analisi colorimetrica, viene normalmente effettuata attraverso "modelli di colore", ovvero modelli matematici che permettono di rappresentare i colori in forma vettoriale, tipicamente utilizzando tre o quattro dimensioni relative alle componenti cromatiche.

Altre metodologie di misurazione del colore si basano sulla misura della "temperatura" equivalente, in cui il valore temperatura viene associato ad una determinata caratteristica cromatica, ovvero quella assunta da un corpo nero riscaldato alla temperatura che produce il medesimo effetto ottico cromatico. In molti casi, per l'analisi colorimetrica vengono utilizzati dispositivi basati su spettrofotometri sferici che lavorano in riflessione.

Queste metodologie sono supportate da una serie di sensori che spesso sono poco applicabili in ambiente industriale per il monitoraggio e il controllo in tempo reale di soluzioni acquose, se non apportando significativi adattamenti.

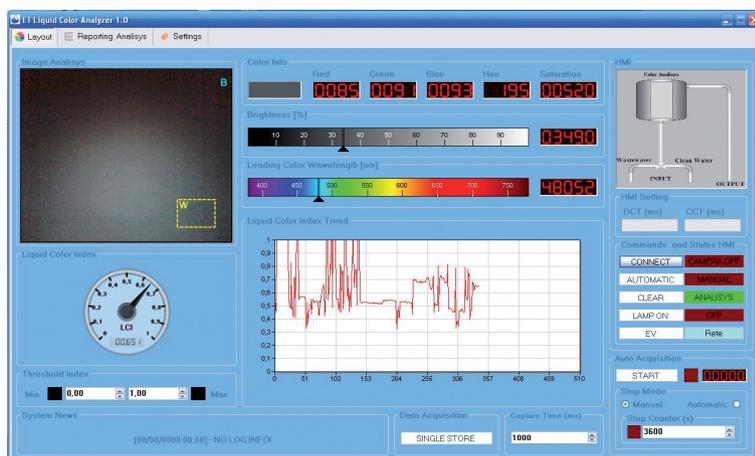
### L'invenzione

L'ENEA e lo Studio Tecnico Associato ET ENGINEERING hanno brevettato un sistema di misura costituito da una cella di campionamento a flusso continuo e a passo variabile comprensivo di un sistema autopulente.

Mediante l'ausilio di telecamere, l'apparato è in grado di eseguire il monitoraggio in tempo reale del colore presente nelle soluzioni acquose e di ottenere informazioni sulle componenti colorimetriche del liquido da analizzare riferibili sia allo spazio RGB (Red, Green, Blue) che allo spazio HSV (Hue, Saturation, Value).

**Patent No.:** RM2012U000214  
**Title:** Analizzatore colorimetrico di soluzioni acquose (ACSA)  
**Inventors:** Dante Marcello Traverso, Maurizio Casarci, Claudio Ciccarelli, Gino Moio  
**Contact person:** Maurizio Casarci, maurizio.casarci@enea.it

Inoltre, mediante l'applicazione di sofisticati e innovativi algoritmi, il sistema può rilevare ulteriori caratteristiche, come la lunghezza d'onda dominante (Liquid Color Wavelength - LCW) e un indice adimensionale normalizzato denominato "Liquid Color Index" (LCI) che fornisce in modo sintetico un dato relativo alla quantità di colorante presente nel liquido in analisi. Quest'ultimo consente il rilevamento di informazioni sulla quantità di eventuali inquinanti presenti in acqua (Water Pollution Index - WPI) e, in modo complementare, sulla qualità delle acque (Water Quality Index - WQI).



Un'ulteriore importante caratteristica del dispositivo consiste nella capacità di monitorare in continuo e in tempo reale i valori assunti nel tempo dal parametro, in modo da poter attivare con assoluta tempestività interventi correttivi di controllo. Evidenti i vantaggi, ad esempio, nel monitoraggio dei corpi idrici recettori, di scarichi civili e/o industriali, trattamenti di tintura ecc. Il dispositivo può lavorare con soluzioni acquose sia fredde che calde, è dotato di un'alta resistenza alla corrosione da agenti chimici e il materiale di costruzione può essere scelto in base alle condizioni operative e alla tipologia del processo da monitorare (alluminio, acciaio inox, PVC ecc.).

## Applicazioni

Il sistema è estremamente versatile: con opportuni aggiustamenti è infatti possibile estendere le sue potenzialità ad una vastissima casistica personalizzabile a seconda delle esigenze del processo da monitorare. Il sistema, inoltre, può essere interfacciato con altri sistemi di controllo automatico (PLC, schede di acquisizione, controllori dedicati ecc.). Diverse anche le possibili applicazioni: nelle analisi delle acque di depurazione, industriali e potabili, nelle analisi di reflui provenienti dal settore lattiero caseario, nel controllo colorimetrico in processi industriali e nelle analisi chimiche di laboratorio.

(a cura di Daniela Bertuzzi)

## The invention

ENEA and Studio Tecnico Associato ET ENGINEERING have patented a measurement system made of a continuous-flow, variable-pace sampling cell with a built-in self-cleaning system.

By way of video cameras, the device can real-time monitor the colour present in aqueous solutions and so obtain information on the RGB (Red, Green, Blue) and HSV (Hue, Saturation, Value) spaces of the colorimetric components contained in the liquid to be analyzed.

Furthermore, by applying sophisticated and innovative algorithms, the system can detect additional characteristics, such as the dominating wave length (Liquid Color Wavelength - LCW) and a dimensionless normalized index (Liquid Color Index" - LCI), which synthetically provides a datum on the quantity of colorant present in the analysis liquid. This latter allows to detect information on the quantity of possible contaminants contained in water (Water Pollution Index - WPI) and, complementarily, on the quality of waters (Water Quality Index - WQI).

One additional, important characteristic of this device is its capability for continuous and real-time monitoring of the parameter values over time, so that corrective control measures can be promptly arranged. The benefits are evident, for instance, when monitoring the water receptor bodies, civil and/or industrial sewage, dye treatments, etc. The device can work with cold and hot aqueous solutions and is highly resistant to chemicals; the building material can be chosen depending on the operative conditions and the typology of the process to be monitored (aluminum, stainless steel, PVC, etc.).

## Applications

The system is extremely versatile: actually, if properly adjusted, it can be potentially applied to the widest range of cases and can be customized to meet the needs of the process to be monitored.

The system can also be interfaced with other automatic control systems (PLC, acquisition cards, dedicated controllers, etc.).

It can find several possible applications: analysis of industrial and drinkable purification waters, analysis of dairy wastewaters, colorimetric control in industrial processes and in chemical laboratory analyses.

(translated by: Carla Costigliola)



## Profondo... Nord

Numerose applicazioni richiedono di conoscere l'orientamento di una determinata direzione o dell'orientamento di un oggetto rispetto alla direzione del Nord geografico con elevata accuratezza. La bussola brevettata è in grado di assicurare una precisione molto più elevata dei modelli sul mercato

### Deep... North

Many applications need to know, with a high level of accuracy, the orientation of a given direction or object with respect to the geographical North. The patented compass can ensure a much higher precision than the models currently available on the market

#### The initial problem

*Many applications require a high level of accuracy when determining a given direction or the orientation of an object in space, with respect to the North. In addition to cartographic surveys, it is worth mentioning the measurements for geological surveys and civil engineering works, the environmental monitoring, urban or industrial sites surveys, the installation of concentrating solar plants (thermal and photovoltaic) and of radar facilities, the remote robot control for surveys in contaminated areas or extraterrestrial missions, etc.*

*The conventional magnetic compasses usually have a low level of accuracy, typically of the order of 1°. Actually, the magnetic*

#### Il problema di partenza

Numerose applicazioni richiedono un elevato grado di accuratezza nella conoscenza di una determinata direzione o dell'orientamento di un oggetto nello spazio, rispetto alla direzione Nord. Oltre alle rilevazioni cartografiche, si possono citare le misure per i rilievi geologici e le opere d'ingegneria civile, i monitoraggi ambientali, i rilevamenti di siti urbani o industriali, l'installazione d'impianti solari a concentrazione (termici e fotovoltaici) e di impianti radar, la guida remota di robot per rilievi in zone contaminate o missioni extraterrestri ecc.

Le bussole magnetiche normalmente utilizzate hanno una bassa precisione, in genere dell'ordine di 1°. Infatti, il Nord magnetico non coincide con il

Nord geografico e la differenza tra essi varia nel tempo (anche giornalmente). Inoltre, la presenza di materiali ferromagnetici nei pressi della bussola può influenzarne il funzionamento in maniera significativa.

Un dispositivo che consente di aumentare molto l'accuratezza della misura del Nord geografico è rappresentato dalla bussola solare, che si basa sull'utilizzo della posizione del sole rispetto all'osservatore e che sfrutta il principio di una meri-



**FIGURE 1** An old solar compass based on a portable sundial

**Patent No.:** RM2012A000664

**Title:** Bussola solare elettronica ad alta precisione

**Inventors:** Francesco Flora, Sarah Bollanti, Domenico De Meis, Paolo Di Lazzaro, Antonio Fastelli, Gian Piero Gallerano, Luca Mezi, Daniele Murra, Amalia Torre, Davide Vicca

**Contact person:** Francesco Flora, francesco.flora@enea.it



diana portatile. Questa, una volta orientata a sud la linea che segna le ore 12, fornisce l'ora grazie all'ombra di uno gnomone, ma se si conosce l'ora esatta e si allinea l'ombra sulla linea che indica tale ora, si ricava la direzione nord-sud (che coincide con le ore 12 del quadrante della meridiana). Le bussole solari più moderne sono elettroniche e munite di un dispositivo GPS (Global Positioning System), in grado di fornire le coordinate del luogo e dell'ora con estrema precisione, oltre a un sistema di rilevamento elettronico della posizione dell'ombra sul quadrante della bussola (ovvero la direzione del sole). Questa caratteristica le rende precise e completamente automatiche.

### L'invenzione

L'ENEA ha brevettato una bussola solare elettronica meno complessa, ma più precisa di quelle esistenti, compatta e automatica, che rileva la posizione del sole con un sistema ottico innovativo e utilizza le equazioni che ne regolano il moto apparente, grazie ad un algoritmo semplice ma accurato, in grado di funzionare in ogni luogo della Terra e di fornire la direzione Nord-Sud con una precisione di circa 1/60 di grado. Come le meridiane nelle chiese raggiungono la massima esattezza grazie al loro funzionamento basato sul principio della "camera oscura", così anche il quadrante della bussola ENEA rimane tutto buio ad eccezione di una riga di luce lasciata filtrare da una stretta fessura e ciò conferisce a questa bussola la sua estrema accuratezza.

Il suo funzionamento è molto semplice. In pratica, si mette in orizzontale (per esempio tramite una livella a bolla) la struttura su cui è posizionata la bussola, formata da un treppiede dotato di cannocchiale e goniometro di precisione, e si attende che il GPS riceva dai satelliti i dati relativi all'ora e alle coordinate del luogo. Si orienta il sensore elettro-ottico approssimativamente verso il sole e si attende che il microprocessore, dopo aver elaborato i dati, individui la direzione Nord-Sud. È ovviamente necessario che il sole sia visibile anche se solo per pochi secondi, il tempo necessario all'acquisizione della sua posizione. Si punta infine l'oggetto da riguardare e si legge sul display la sua direzione rispetto a quella Nord-Sud. Il tempo utile al primo di una serie di rilevamenti è tipicamente dell'ordine di pochi secondi, mentre il risultato dei rilevamenti successivi è immediato.

### Applicazioni e vantaggi

La bussola brevettata dall'ENEA può essere applicata in diversi set-



**FIGURE 2** The ENEA electronic compass: the microprocessor box (on the left) and the sensitive part (on the right)

*North and the geographical North do not coincide, and the difference between them varies over time (even daily). Furthermore, the presence of ferromagnetic materials nearby the compass can significantly influence its mode of operation.*

*The solar compass can significantly improve the accuracy in the detection of the geographical North. It makes use of the sun's position with respect to the observer and substantially consists of a portable sundial used in the reverse mode: the sundial is rotated until it shows the same time as the watch, so that the local noon line of the sundial exactly indicates the North-South direction. Modern solar compasses are provided with electronics and a GPS (Global Positioning System) in order to know the place and time coordinates with high precision. They also have a built-in electronic system capable of detecting the position of the shadow on the compass dial (i.e., the direction of the sun). This characteristic makes them precise and completely automatic.*

### The invention

*ENEA has patented an electronic solar compass, compact and automatic, less complex but more precise than those currently existing. It detects the sun position by means of an innovative optical system and uses the equations ruling its apparent motion thanks to a simple but accurate algorithm, which can be in operation anywhere on the Planet and provide the North-South direction with a precision of about 1/60 degree. Just as the sundials in churches can achieve the maximum precision since their operation is based on the principle of "camera obscura" (the gnomon consists of a small hole in the church sealing), likewise the ENEA compass dial remains completely dark, except for a light line filtering from a narrow slit, which confers the compass its extreme accuracy. Its operation mode is very simple. In practice, the device is laid horizontally (e.g., using a bubble level), while the GPS receives the time and place coordinates from satellites. The electro-optical sensor is oriented approximately in the sun's direction, then the microprocessor processes the collected data and identifies the North-South direction. Obviously, the sun must be visible even though for a few seconds, that is the time required for its position to be detected. Finally, the object to sight is aimed at and its direc-*

tion with respect to the North-South appears on the display. The time required for the first detection is of the order of a few seconds, whereas the result of the subsequent measurements is immediate.

#### Applications and benefits

The ENEA-patented compass can be applied to a number of sectors and situations: topographical and archeological surveys; civil engineering; 3D reconstruction of scenarios; alignment of photovoltaic and concentrating solar panel; installation of radars in airports; orientation of robots and automated machines; orientation of extraplanetary moving systems; calibration of other compasses.

The accuracy of the direction measurement is only one of the many positives of this device: it is compact (the size of the sensitive part is about 6 x 6 x 6 cm<sup>3</sup>), its building costs are as low as those of a low-value mobile phone, it is automatically operated, it allows quick detection, it can be operated at any latitude and is insensitive to any interferences due to anomalous magnetic fields or ferrous masses. In some applications as, e.g., the positioning of solar thermodynamic (or concentrating) power plants, the compass allows the mirrors to be oriented with a high level of accuracy and to make their installation easy (and therefore lower-cost), since each orientation anomaly with respect to the design is monitored by the compass and included in the calculation of the mirrors motion. Additionally, in a plant with many mirrors the low cost impact of the ENEA device allows to install a compass on each mirror, so as to ensure that the mirrors are perfectly aligned though having an independent motion system.

Finally, collaboration with private companies is being started to develop a solar compass which can be operated on mobile vehicles, too. This will make the compass even more versatile and compact (almost pocket) and will pave the way to new market's interests, such as naval, aeronautics, etc.

(translated by: Carla Costigliola)

tori e situazioni: nei rilievi per indagini topografiche e archeologiche, nell'ingegneria civile, nella ricostruzione tridimensionale di scenari, nell'allineamento di pannelli fotovoltaici, solari e a concentrazione, nell'installazione di radar aeroportuali, nei sistemi di orientamento di automi (robot, macchine), nell'orientamento di sistemi di movimentazione su altri pianeti, nella taratura di altre bussole.

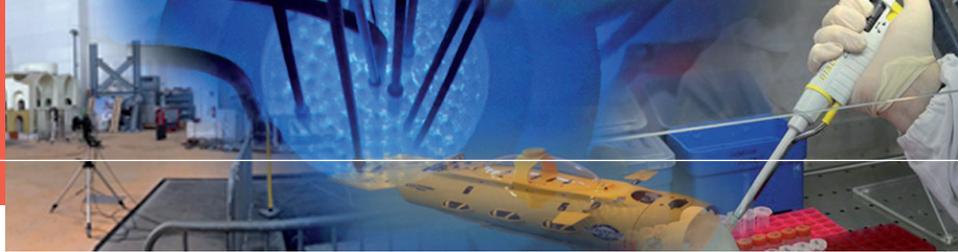
Oltre all'accuratezza nella misura della direzione, presenta diversi vantaggi tra cui la compattezza (le dimensioni della parte sensibile sono di circa 6 x 6 x 6 cm<sup>3</sup>), i costi di costruzione contenuti, paragonabili a quelli di un telefono cellulare di fascia bassa, il funzionamento automatico, la velocità di rilevamento, il funzionamento a ogni latitudine e l'insensibilità a interferenze dovute a campi magnetici anomali o a masse ferrose. In alcune applicazioni, come ad esempio il posizionamento degli impianti solari termodinamici, l'uso della bussola consente non solo di raggiungere un'elevata accuratezza di orientamento degli specchi dell'impianto ma anche di semplificarne notevolmente l'installazione (con conseguente riduzione dei costi), perché ogni anomalia di orientamento rispetto al progetto viene monitorata dalla bussola e inclusa nel calcolo della movimentazione degli specchi stessi. In un impianto dotato di numerosi specchi, inoltre, data la bassa incidenza del costo del dispositivo ENEA, si può installare una bussola su ogni specchio, in modo da ovviare alla necessità di allineare perfettamente tutti gli specchi tra di loro e dotandoli di un autonomo sistema di movimentazione.

Infine, è in fase di avvio una collaborazione con aziende private per lo sviluppo di un prototipo di bussola solare in grado di funzionare anche su mezzi mobili. Questo renderà la bussola ancora più versatile e compatta (quasi tascabile) e aprirà nuovi interessi di mercato quali quello navale, aeronautico ecc.



**FIGURE 3** The ENEA compass mounted on a theodolite during the measurements performed at Doganella's aquifers in Rocca Priora (Rome), under a collaboration agreement with ACEA

(a cura di Daniela Bertuzzi)



## Diet impacts on health and the environment: Exploring possible tools for improving sustainability

Food production and consumption, especially meat, are between the main sources of human pressure on the environment. This pressure is highly unsustainable in most European countries, as it affects crucial non-renewable resources, food security and human health, also. The direct cause is the huge growth of intensive animal production during the 20th century, which made animal products rather than cereals the chief protein source in most developed countries. As many people in developing Eastern countries use their growing income to follow this trend, the pressure will continue to increase. This makes it vital that people in most developed countries choose to eat smaller quantities of meat and more environmentally-friendly proteins, such as plant-based options or other novel protein sources. A change in individual behaviors and lifestyles is generally considered to be of vital importance for making the transition to a sustainable society. However, as research and practice over several decades have shown, lifestyles are generally not becoming more sustainable, nor are changes in that direction easily made. The adoption of a healthy dietary strategy is a win-win policy thanks to its benefits for both human health and environmental pollution

DOI 10.12910/EAI2014-106

■ A. De Marco, M. Velardi

### Food consumption in Europe

Diets in most developed countries are characterised by high intakes of animal products, which lead to an intake of saturated fat intake well above dietary guidelines. Consumption of meat and dairy products are increasing worldwide in the last 4 decades (FAO, 2006; Kerney, 2010), which will probably aggravate the impact of livestock production on the environment (Godfrey et al, 2010; Thornton, 2010 Bowman et al, 2011). Concerns about animal welfare, reactive nitrogen and greenhouse gas emissions have stimulated public debate in Europe on eating less meat and dairy products (Deckers, 2010; Garnett 2011; Deemer and Lobao, 2011, Kristallis et al, 2012). Changing western diets may have positive outcomes for both human health and the environment (Friel et al., 2009; Hawkesworth et al, 2010). There have been numerous life-cycle analyses (de Vries and de

Boer, 2010; Nijdam et al, 2012; Weiss and Leip, 2012), broad input-output analysis (Tukker et al, 2011) and global studies (Popp et al, 2010; Stehfest et al, 2009; 2013), but these studies all lack the actual implications for the regional agriculture.

There are some differences between old and new Member States in the EU. France, Denmark, Portugal, Sweden and Spain have the highest consumption of animal protein. Much lower consumption of animal proteins is generally found in the new Member States, where vegetable proteins consumption is higher than the Eu-

Contact person: Alessandra De Marco  
alessandra.demarco@enea.it

ropean average. The difference between old and new Member States in total protein consumption – including vegetable protein – is therefore slightly less.

In particular, the Mediterranean diet was characterized historically by low meat consumption and a considerable fresh vegetable and fruits consumption. Recently, the Mediterranean diet has been partially abandoned in the Mediterranean countries (De Marco et al, 2014). In fact, the level of meat consumption in these countries is currently even higher than the European average. The southern Member States (including France) now are currently responsible for half the total meat consumption in the EU27, while their share of the EU population is only 38%. The highest meat consumption is found in Spain, followed by Austria and Cyprus. In these countries, the consumption of meat is around 65 kilograms, per capita per year. This is almost 25% higher than the European average (intake of 52 kilograms, per capita, corresponding to 86 kilograms in carcass weight). Pig meat is the most consumed type of meat in Europe, as it constitutes half of all the meat consumed. The most pig meat is consumed in countries with the highest levels of meat consumption, namely Austria and Spain.

Accounting for a quarter of the meat consumption, the share of chicken is currently greater than that of beef. Per-capita consumption is the highest in Cyprus, the United Kingdom and Hungary. France and Denmark have the highest beef consumption. Sheep and goat meat are not much consumed in Europe, and their consumption is mainly attributed to southern Europe and the United Kingdom. Prosperity is the main driver for increasing consumption of animal products.

In general, higher the income higher the consumption of animal proteins. The relationship between prosperity and levels of consumption of all animal products is generally clear although the different Member States show distinct consumption preferences. Looking at the individual products, for example pig meat or dairy products, the consumption seems less related to prosperity. However, rich countries with a relatively low meat consumption – such as Sweden, the Netherlands and Finland – show higher consumption levels of dairy products. In general, cultural aspects and the supply of nationally produced foods together determine the choice of the products.

## The Mediterranean diet and the Mediterranean Adequacy Index

The Mediterranean diet has been recently inscribed on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity (Reguant 2009), after Barcelona Process in 1995, aimed at building a multilateral framework for ingoing dialogue and cooperation between the EU and its Mediterranean partners, with the objective of achieving a common area of stability and prosperity in the Mediterranean region (Dernini 2006). The Mediterranean diet is characterized by a nutritional model consisting mainly of cereals, fresh or dried fruit and vegetables, olive oil as the principal fat source, a moderate amount of fish, dairy products, meat and wine, all accompanied by spices. From the nutritional point of view, the Mediterranean diet has eight main components: high monounsaturated-saturated fat ratio, moderate ethanol consumption, high legumes consumption, high cereals consumption, high fruits consumption, high vegetables consumption, low meat and meat products consumption, and moderate milk and dairy products consumption (Trichopoulou et al. 1995a). Olive oil undoubtedly is the distinctive dietary element. Meat intake is sporadic, only a few times per month, with greater consumption of lamb, poultry, rabbit or fish. Eggs are included in the diet a few times per week. Yoghurt and cheese intakes are abundant in some countries (i.e. Greece, Cyprus and Turkey), primarily derived from goats and sheep, and milk consumption is less than current intakes. Moreover, moderate wine consumption, combined with an active lifestyle linked to work and transport patterns, completes the characteristic Mediterranean diet model (Serra Majem and Ribas 1995).

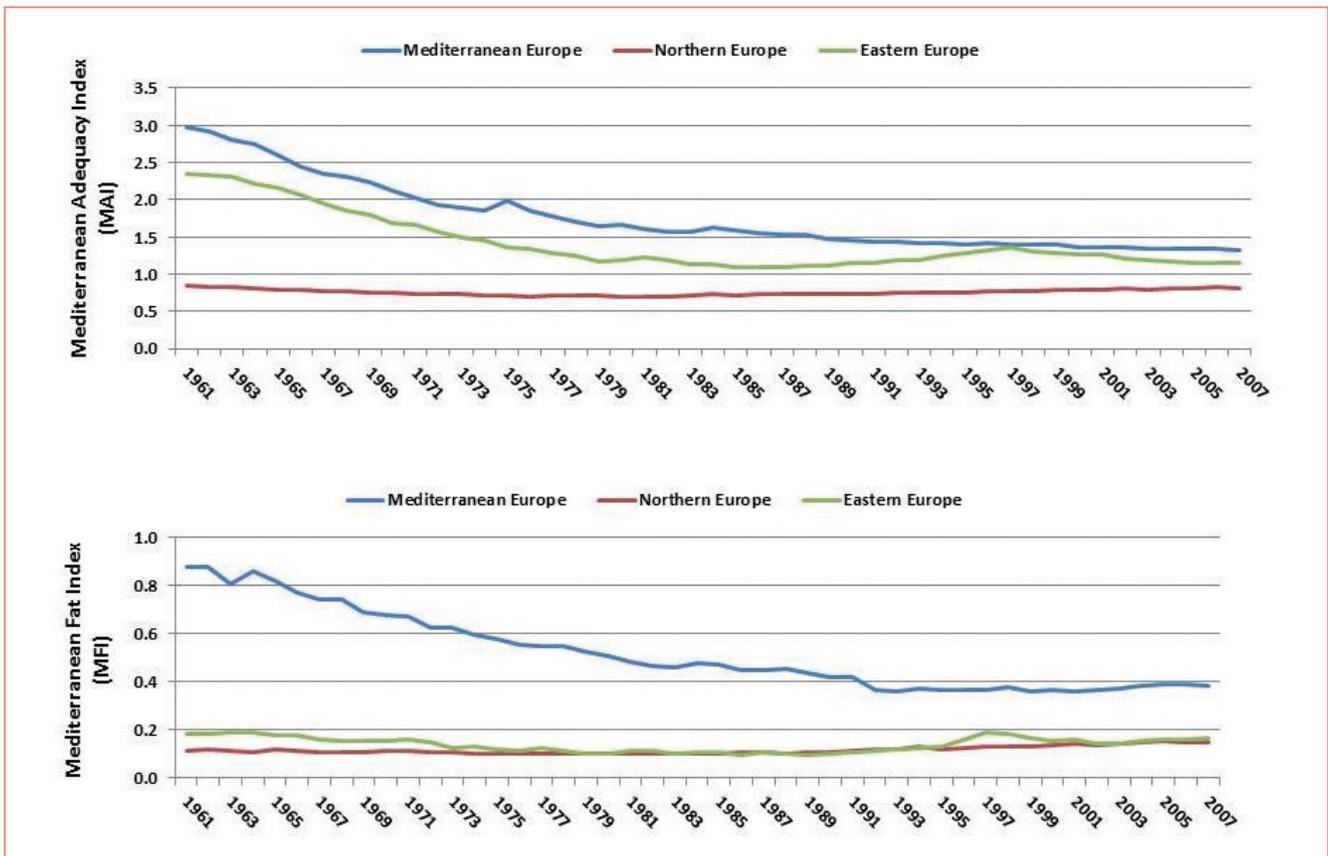
Adherence to a Mediterranean diet was defined through scores that estimated the conformity of the dietary pattern of the studied population with the traditional Mediterranean dietary pattern (Sofi et al., 2008). The adherence to the Mediterranean diet can be calculated by the Mediterranean Adequacy Index (MAI), as the ratio between the energy provided by Mediterranean and Non-Mediterranean food (Alberti-Fidanza et al. 1999; Alberti-Fidanza and Fidanza 2004; Fidanza et al. 2004; Alberti et al. 2009). As a consequence, high

values of MAI determine high adherence of alimentary habits to the Mediterranean dietary. We calculated the trend over time (from 1960 up to 2007) for MAI and another index, linked to Mediterranean habits, that is Mediterranean Fat Index (MFI), calculated as the ratio of fats intake by Mediterranean foods and non-Mediterranean ones. Trends for both indices are shown in figure 1. A clear declining trend is highlighted by the figure for the cluster representing Mediterranean countries for both indices, while only MAI is decreasing for eastern countries, and MFI is quite stable. Both indices are stable for north-European countries. The MAI trend in Mediterranean countries well describes the “westernization” of dietary habits occurred. Actually, even though starting from different values (3 for med

countries and 0.8 for north countries, respectively) the MAI values are converging for both clusters. The declining of MAI in eastern countries can be related to the increased economic availability.

### The demitarian diet

Demitarianism is the practice of making a conscious effort to reduce meat consumption largely for environmental reasons (Wikipedia). The term was devised in October 2009 in Barsac, France at the combined workshop of Nitrogen in Europe (NinE) and Biodiversity in European Grasslands: Impacts of Nitrogen (BEGIN) where they developed “The Barsac Declaration: Environmental Sustainability and the Demitarian Diet”.



**FIGURE 1** Trend of Mediterranean Adequacy Index (MAI) and Mediterranean Fat Index (MFI) from 1961 to 2007 for Mediterranean countries (blue line), eastern countries (green line) and northern countries (red line) in Europe  
 Source: FAOSTAT database, personal elaboration



The declaration was developed due to the implication of large scale animal farming as a primary contributor to disruptions in the nitrogen cycle and the subsequent effects on air, land, water, climate and biodiversity.

The term *demi* is from the Latin *dimedius* meaning half. The Demitarian diet is to literally “half” the standard portion of meat products that would be consumed in a regular meal. This portion is to be replaced with a correspondingly larger portion of vegetables or other food products.

### Environmental impacts of food

Dietary habits affect the environment, also. In the context of this debate, the central question is: what would be the consequences for the environment and human health if consumers in an affluent world region were to reduce their meat and dairy intake? We here explore this question with a focus on the European Union (EU), a region that illustrates a high per-capita intake of animal protein compared with many other parts of the world. Recently, many works have been carried out regarding the potentiality of the diet to reduce greenhouse gases emissions, water consumption and ecological footprint. Anthropogenic emissions of greenhouse gases (GHGs) related to food production accounts for about 15% at a world level. Other studies (Carlsson-Kanyama 1998; Carlsson-Kanyama et al. 2003; Engstrom et al. 2007) have shown that food choices and diet can influence the energy requirements for the provision of human nutrition and the associated GHG emissions. Meals similar in caloric content may differ by a factor lasting from 2 to 9 in GHG emissions (Carlsson-Kanyama 1998; Engstrom et al. 2007). An analysis of the energy inputs showed that meals with similar nutritional value had a difference in GHG emissions of up to a factor of 4, depending on the items chosen (Carlsson-Kanyama et al. 2003). All of these studies identified certain foods as more resource demanding/polluting, including animal products and certain vegetable-intensive ways produced.

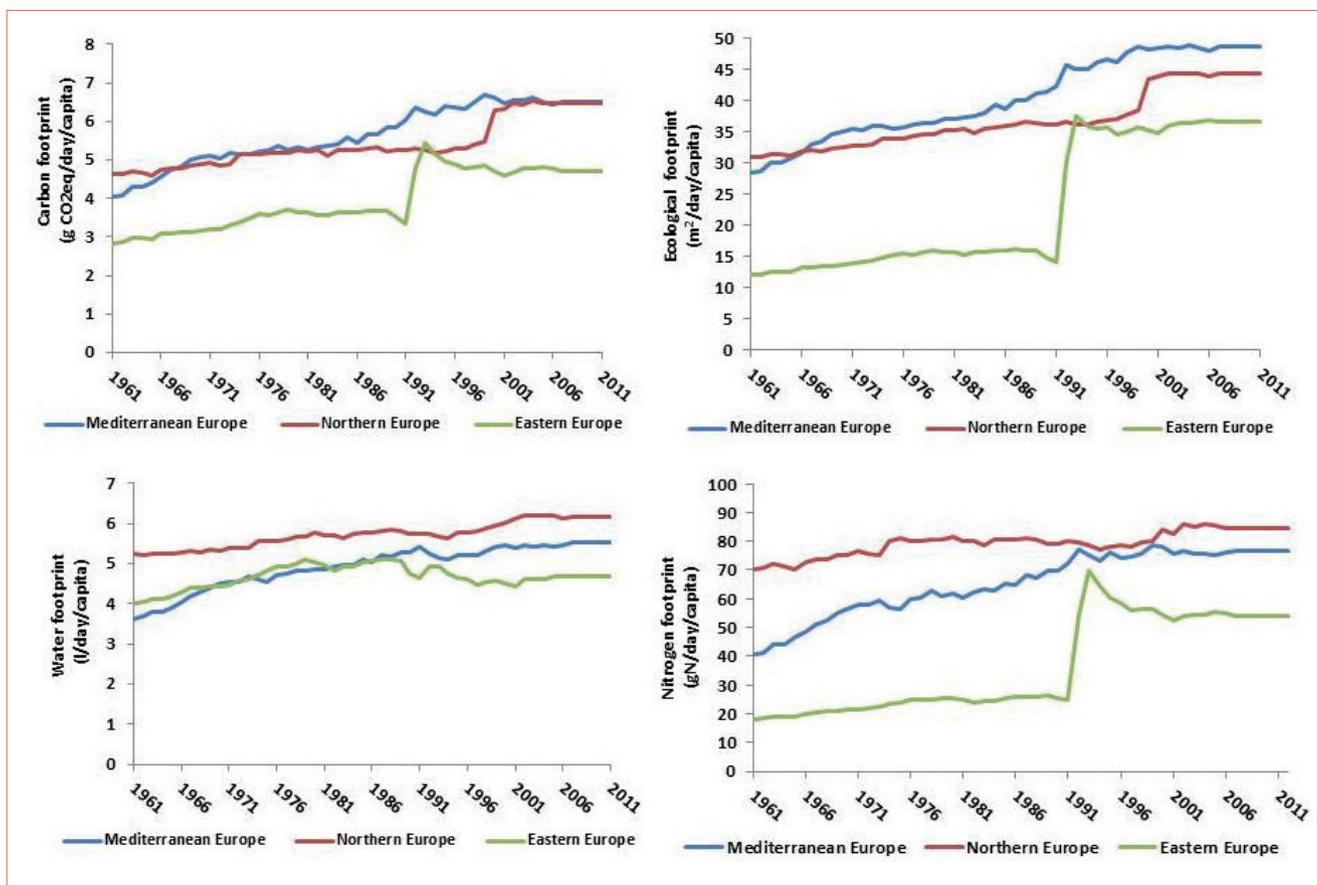
Concerning the high use of water resources for food production and consumption, a detailed analysis has been performed (Mekonnen and Hoekstra 2011). The authors found that the water footprint of the global

average consumer in the period 1996-2005 was 1385 m<sup>3</sup>/yr. About 92% of that water footprint is related to the consumption of farming, 5% to the consumption of industry and 4% to domestic water use. Literature evidence (Duchin 2005), studying diets from multiple viewpoints of sustainability, showed that the predominantly plant-based Mediterranean-type diet has a lower environmental effect than the current average US diet. The nitrogen footprint of meat and dairy products was much higher than that from plant-based food.

Recently Westhoek et al, 2014, demonstrated that if everyone in the European Union halved their meat and dairy consumption, this would cut GHGs from agriculture by 25 to 40%. One of the major barriers to action is the international trade in food commodities. The result is that countries fear that tackling nitrogen pollution will reduce their international competitiveness. The present study shows that there is huge power for pollution control in simply reducing our meat and dairy consumption. The authors expect widespread environmental gains from a switch towards a more plant-based diet. In fact agriculture is the major source of nitrogen pollution.

They expect the reductions in nitrogen emissions will benefit not only the EU but the entire European continent and the world. Both atmospheric ammonia and water-borne nitrates cross national frontiers, so altering European diets could help significantly to reduce international pollution, while cutting emissions of methane, nitrous oxide and carbon dioxide (all GHGs) is globally important. In the presented scenarios the EU would become a net exporter of cereals, and the use of soymeal would be reduced by 75%. The nitrogen use efficiency of the food system would increase from its current 18% to between 41% and 47%, depending on choices over land use.

For each country, four food consumption footprints have been calculated (water, nitrogen, carbon and ecological footprint, respectively). Figure 2 shows the graphs concerning the four footprints per geographic position. Since, for the year 2006, the agriculture sector accounts for 84% and 52% of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions, we have analysed the carbon footprint for food consumption in EU countries. Figure 2 shows the differences among clusters: the food production and consumption car-



**FIGURE 2** Trend for carbon, water, ecological and nitrogen footprints for food consumption for Mediterranean countries (blue line), eastern countries (green line) and northern countries (red line) from 1961 up to 2011  
 Source: FAOSTAT data, personal elaboration

bon footprints are lower in eastern and Mediterranean countries, compared to Northern ones.

Finally, as the agriculture accounts for almost all of the consumptive water use attributed to humans, the ratio between the total exploitable water is the most important resource indicator when dealing with food consumption.

The change in the commodities consumption is the result of changes in agricultural practices over the past 50 years, which have increased the capacity to provide food for people through increasing productivity, greater diversity of foods and less seasonal dependence. Food availability has also increased, as a consequence of rising income levels. In Eastern European countries

almost all the commodities show a sudden rising trend in coincidence with the Berlin Wall fall: maybe this is due to an enhanced food availability or to a different system in collecting statistical data. The trends observed in the commodities consumption in the period 1961-2007 show a sort of “westernization” of dietary habits from Eastern and Mediterranean countries to Northern ones.

Changes toward a more plant-based diet could help substantially in mitigating emissions of GHGs, because the 24% of GHGs emissions (an average for all the selected countries) is due to food consumption. Unfortunately, this is a largely unexplored area of climate policy. Few authors have proposed changes that lower

meat consumption. For example, it has been suggested (Smil 2002) that because a large percentage of beef is consumed ground in hamburgers or sausages, the inclusion of protein extenders from plant origin would be a practical way to replace red meats. Recently (McMichael et al 2007) a 10% reduction in the current global average meat consumption of 100 g/person/day has been estimated as a working global target.

All the beneficial effects for the environment are associated with co-benefits for public health.

Concerning the ecological footprint, a change in dietary habits toward a Mediterranean (or more plant-based) diet is suitable, mostly for those countries having a food consumption footprint exceeding their biocapacities. More realistically, a change in food habits could result in a benefit for the environment, and this could lead to a reduction of the ecological footprint below the threshold linked to the biocapacity of a specific country. This is supported by the evidence that a return to the past food consumption, provided that the diet is nutritionally adequate, could result in an ecological footprint below the biocapacity. The production of fruits and vegetables and other plant-based foods is less resource-intensive than the production of meat and the former offer protection from the risk of cardiovascular diseases and some cancers. Production and consumption of fresh and unprocessed fruits and vegetables require less energy than production and consumption of processed foods, and confer additional health benefits (Duchin 2005).

### Effects of food on human health

Food consumption is a very important factor in determining human health. In fact, comparing the cancer risk associated with many driver factors we can see that food is the most relevant parameter, with higher risk level than the smoking habit (Table 1).

The relationship between red meat consumption and colorectal cancer incidence is supporting this idea (De Marco et al., 2014). Furthermore, an increase in the consumption of Mediterranean food (olive oil, particularly) is very important for epidemiological evidence, because the negative effects of meat consumption could be balanced or deleted by introducing healthy food in the diet.

This concept is also supported by the evidence that colorectal cancer incidence is linked to animal protein intake, and not only in general protein intake, thus underlining the protective effects of vegetal protein consumption (De Marco et al., 2014).

From our analysis we did not find relationship between body mass index and Mediterranean Adequacy Index (unpublished observations), that is instead suggested from bibliographic evidences as one of the co-benefits of a healthy diet (Trichopoulou et al. 2007; Kastorini et al. 2011; Esposito et al. 2006; Toobert et al. 2007; Buckland et al. 2008). This result could be linked to other parameters affecting the body mass index, that do not allow to generalize our observation. The body mass index seems to be linked to differences in race, education, attitude to physical activity, culture, prevention, medical information and income availability of the country.

Meat and dairy product are rich sources of vitamins, vitamin B12 in particular, iron, calcium, zinc, and other compounds. In the EU, these products are also primary sources of energy and protein. The energy-intake is higher than necessary as many Europeans are overweight. Protein consumption is as much as 70% higher (Westhoek et al, 2011) than recommended in the WHO guidelines (threshold set to 18.5 kg/capita/year). Although there are differences in protein consumption levels among Member States, consumption levels in all are higher than it would be necessary.

Furthermore, there are some risks related to eating too

Type of exposition	Cancer risk
Food	35
Tobacco	30
Infections	10
Reproduction factors	7
Working activity	4
Geophysical factors	3
Environmental pollution	2
Drugs	1
Unknown	?

**TABLE 1** Cancer risk associated with different pressure

many animal products. Although excessive consumption of red meat is related to an increase in cancer, the consumption of red meat in Europe is still twice as high as that recommended by the World Cancer Research Fund. Beef, pig, sheep, goat and horse meat are all red meats. The World Cancer Research Fund recommends that the average consumption of red meat should be no more than 16 kilograms per year, of which little to none should be processed meats (WCRF & AICR 2007). Many people in Europe, however, eat much more than the recommended limit of 16 kilograms per year. On average, Europeans consume about 37 kilograms per capita of pig meat and beef. In the EU15 this is even as much as 39 kilograms. Austria leads with 50 kilograms per year, and Bulgaria consumes the least with 14 kilograms per year.

In addition, consumption of saturated fats should be limited according to WHO because of the increased risk of cardiovascular diseases. However, the consumption of saturated fats in Europe is currently 42% higher than the recommended maximum amount. The difference in the consumption of animal fats between EU countries is more than a factor of two. The per-capita consumption of animal saturated fatty acids is highest in Denmark and France. Only in Estonia and Bulgaria the consumption is less than the maximum recommended intake. Overall, the consumption of saturated fatty acids is more than the recommended maximum intake in most European countries. As 80% of saturated fats originate from animal products, a reduction in animal products is favourable to health. A shift in the consumption of proteins from animal products – which generally also contain high amounts of saturated fats – to vegetal products would be healthier.

A very large amount of papers has been published which evaluated the evidence accumulated over the last three decades and they conclude that the traditional Mediterranean diet meets several important criteria for a healthy diet (Keys 1980; Trichopoulou et al. 1995b; Osler and Schroll 1997; Kouris-Blazos et al. 1999; Corbalan MD et al. 2009). Direct evidence in support of the beneficial properties of the Mediterranean diet has also become available (Trichopoulou et al. 2007). Different Mediterranean-style diets have been shown as a safe strategy for the treatment of the metabolic

syndrome (Kastorini et al. 2011), and for helping to reduce associated cardiovascular risk (Esposito et al. 2006; Goulet et al. 2007; Toobert et al. 2007; Buckland et al. 2008), also in children (Lazarou 2009). Indeed, greater adherence to the Mediterranean diet has been associated with a lower prevalence of abdominal obesity (Panagiotakos 2006), and recently it was proposed that the Mediterranean diet is particularly effective for glycaemic control (Shai et al. 2008). Moreover, results suggest that promoting eating habits consistent with Mediterranean diet patterns may be a useful part of efforts to combat obesity (Corbalan MD et al. 2009, Mendez et al. 2006). All the beneficial effects of the Mediterranean diet are linked to the high content of antioxidant and antitumor molecules in the Mediterranean food. For example, tomato has a very high content in lycopene (Agarwal et al. 2001), limonene is present in citrus (Wang et al. 1996), curcuma is abundantly present in turmeric (Egan et al. 2004). A special mention is due to grapes and olive oil. Grapes contain a very large amount of antioxidant molecules, like resveratrol (Costant 1997), quercetin (Fenech et al. 1997), and a lot of recent literature has been focused on antioxidant and beneficial effects of olive oil (Trichopoulou et al. 2007). Resveratrol in particular, a polyphenol present in red wine, has been thought to be responsible for the cardiovascular benefits associated with moderate wine consumption (Costant 1997; Fenech et al. 1997; Iacopini et al. 2008). The alleged beneficial effects of extra virgin olive oil have been linked to both its monosaturated fatty acids (MUFA, namely oleic acid) and its antioxidant components, e.g., hydroxytyrosol and oleuropein, most of which phenolic in nature. Several data show that olive oil phenolic exert in vitro and in vivo antioxidant and potentially cardio protective activities (reviewed in Visioli et al. 2002; Tripoli et al. 2005; Covas 2007; Bogani et al. 2007; Rotondi and Lapucci 2010).

#### *Epidemiological effects of protein intake*

In the last few decades a massive interest has been focused on protein consumption and its effects on health (Westhoek et al. 2011). In 2014 De Marco et al. found a significant relationship between animal protein intake per capita and one of the most accepted epidemiological evidence linked to protein intake, the colorec-

Country	Vegetable	Animal	Total	WHO	% surplus
Austria	12.73	18.80	31.53	18.25	172.77
Belgium	10.88	17.32	28.20	18.25	154.54
Bulgaria	11.60	10.48	22.08	18.25	120.99
Cyprus	10.91	17.46	28.36	18.25	155.42
Czech Republic	11.57	15.97	27.54	18.25	150.91
Denmark	10.91	21.02	31.93	18.25	174.98
Estonia	12.37	14.56	26.94	18.25	147.60
Finland	12.09	19.35	31.44	18.25	172.27
France	11.62	21.34	32.96	18.25	180.61
Germany	11.69	17.79	29.48	18.25	161.55
Greece	16.03	18.74	34.78	18.25	190.56
Hungary	12.16	13.67	25.84	18.25	141.57
Ireland	12.61	18.86	31.47	18.25	172.43
Italy	14.74	17.80	32.54	18.25	178.30
Latvia	10.84	14.94	25.79	18.25	141.30
Lithuania	13.85	20.46	34.31	18.25	188.02
Luxembourg	10.88	17.32	28.20	18.25	154.54
Malta	16.76	18.50	35.26	18.25	193.23
Netherlands	10.65	19.93	30.58	18.25	167.55
Poland	14.46	15.52	29.98	18.25	164.27
Portugal	12.83	20.77	33.60	18.25	184.11
Romania	15.91	16.19	32.10	18.25	175.90
Slovakia	11.21	9.80	21.01	18.25	115.14
Slovenia	12.87	16.72	29.59	18.25	162.13
Spain	11.49	20.54	32.02	18.25	175.47
Sweden	10.49	20.62	31.11	18.25	170.45
United Kingdom	13.12	17.40	30.51	18.25	167.20

**TABLE 2** Intake of vegetable and animal protein in European countries in comparison with WHO suggested levels and percentage of surplus respect to total protein intake

tal cancer. The intake of animal proteins is increasing from Southern to Northern countries, whilst the intake of the vegetal proteins is decreasing in the same gradient. ANOVA confirms this geographical trend linked to animal protein intake, pointing out an homogeneous group between Mediterranean and Eastern countries and another group constituted by Northern countries. Taking into account the overall data, a good correlation exists between animal proteins consumption and colorectal cancer risk ( $r = 0.61, p < 0.01$ ), and with vege-

tal proteins consumption ( $r = -0.64, p < 0.01$ ), according to literature evidence (Bogani et al. 2007; Rotondi and Lapucci 2010; Owen et al. 2000; Galeone et al. 2006). In the same way, the distribution of red meat consumption and colorectal cancer is strictly related as supported by many bibliographic evidence (Larsson and Wolk 2006; Gingras and Béliveau 2011; Chan et al. 2011; De Marco et al., 2014).

In Table 2, intake of vegetable, animal and total protein intake are expressed per country. The surplus is

the percentage of exceedance respect to total level protein intake, as suggested by WHO (WHO, 2008). It is clear that Europe is characterized by an overconsumption of total protein intake, that is largely due to the very high level of animal protein consumption. Reducing the intake of animal consumption would be a possible solution to reach a safer value for human health protection.

## Conclusions

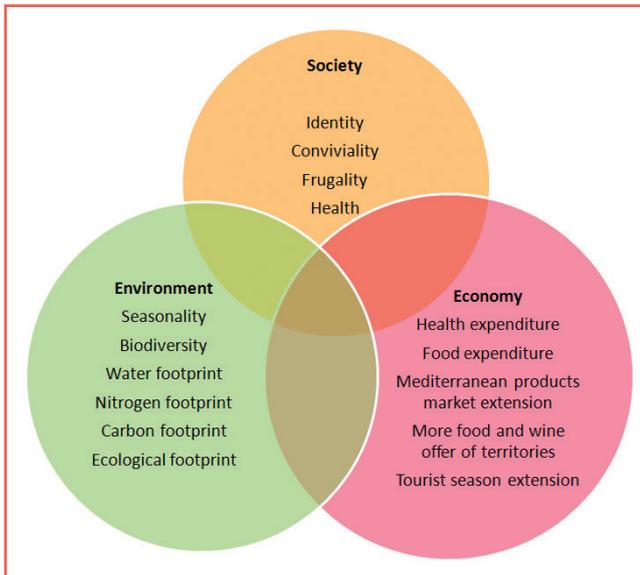
The findings illustrated in the previous paragraphs show that policies aimed at changing the dietary habits of citizens for public health purposes would result in a more efficient use of the environmental resources involved in food production. Accordingly, a reduction of the ecological, carbon, nitrogen and water footprints due to food consumption would be achieved. This means that public health policies could also benefit the environment, allowing to achieve a double dividend. That is very interesting in a time of extended economic and environmental crisis, characterized by limited public resources. Despite the huge amount of evidences showing that the Mediterranean diet is healthy both for people (Trichopoulou et al. 2007; Kastorini et al. 2011; Esposito et al. 2006; Toobert et al. 2007; Buckland et al. 2008; Trichopoulou and Lagiou 2009) and the environment, dietary changes are not yet properly taken into account for the contribution they could give to the improvement of public health, to sustainability and climate policy (Carlsson-Kanyama and Gonzalez 2009). So far, there are several examples of behavioural taxation in the EU and US, which have produced discordant outcomes. The classic behavioural taxation about cigarettes and alcohol consumption have had the desired effect over time.

In 2011, Denmark was the first country to introduce a tax on saturated fats equivalent to 2.15 euro per kg of saturated fat (EPHA, 2012). One year later, tax on sugar and energizing drinks consumption have been introduced in France, the so-called “tax soda” (Harles, 2012). In 2011, the USDA and the U.S. Department of Health and Human Services’ FDA and Centers for Disease Control and Prevention (CDC) sponsored a public meeting, “Approaches to Reducing Sodium Consumption”

(Federal Register, 2011) to provide an opportunity to comment on current and emerging approaches to reducing sodium intake. The results of these initiatives have highlighted some controversial aspects of measures. On the one hand, the policy maker thinks about new fiscal instruments able to contribute in a structural way to finance social spending, triggered by wrong eating habits. On the other hand it is necessary to take into account the elasticity, namely the substitution degree of food consumption, which limits the effectiveness of the fiscal measure. It is also important to consider that these measures are fiscally regressive and that aspect limits their social acceptability.

Recently, the French Senate has conducted a survey on “taxation and public health” and pointed out that in order not to create distortions, it is necessary that behavioral taxation has to give time both to consumers to change their habits and to manufacturers to align their production methods.

It is suggested to replace the expression behavioural tax with “contribution to public health” to define the set of fiscal measures related to health issues. This change would break with the moral aspect associated with the term “behavioural”, highlighting the objective goal of these taxes. Also, it would establish a clear link between taxation and the cost of health care likely to be linked to consumption. Furthermore, the introduction of these measures requires an adaptation of the indirect tax system involved. For example, taxed foods should not benefit from a reduced Value Added Tax. It is also necessary to design an effective taxation system of advertising the need for foodstuffs to discourage consumption. In any case, the target of the initiatives so far decided and implemented in the EU and U.S. has been public health, only. The environmental impact has not been considered yet, although the ecological food footprint in developed countries represents almost a third of the total ecological footprint. Instead, the environment should be taken into account, especially through integrated informative and educational campaigns targeted to the general public and schools. An international initiative taking into account the environmental effects of food consumption is the Demitarian Diet described above, consisting in the practice of making a conscious effort to halve meat consumption



**FIGURE 3** Sustainability scheme for Mediterranean diet. A healthy diet is sustainable, since it answers all the requests for a sustainable policy

for environmental reasons. Demitarians are committed not only to the environment but to a healthy diet, also. Concerning Italy and all the Mediterranean countries, in order to improve the epidemiological status of the population and the environmental impact of food consumption, they should just get back to Mediterranean Diet, recently inscribed in the UNESCO list of intangible heritage of humanity (Reguant, 2009). An increased adherence to the Mediterranean diet lifestyle will produce the same effects as a set of sustainable policies. In fact, the diet affects the three principal aspects of sustainability: environment, economy and society, as shown in Figure 3.

A major spreading of Mediterranean diet principles

can lead to a less water consumption, due to the reduced irrigation needs of Mediterranean species, that are known to be resistant to environmental stresses, also because of their content of antioxidant molecules (Parejo et al. 2002; Conforti et al. 2009). Furthermore, the improvement of dietary habits can carry out a reduction in GHGs emissions, a reduction of biodiversity loss, and it allows a more sustainable use of natural resources. A diet composed of locally and regionally produced foods reduces the energy costs and the atmospheric pollution associated with foodstuff transportation and is less expensive, and therefore more affordable to a large public. Informative campaigns have demonstrated that sharp changes in lifestyles can be achieved relatively quickly (Duchin 2005). Dietary habits can be changed, recurring to food education initiatives in schools and addressed to families, labelling requirements on food items and mass communication of scientific evidences of the wrong dietary habits on health and the environment. Finally, considering further economic and social indexes, notably the reduction of the national health expenditure, the household food expenditure and the economic growth, Mediterranean diet can be suggested to be suitable not only as a win-win policy for health and the environment, but as a global sustainable development policy also, generating benefits in the economic context as well. Moreover, more work is required to quantify the potential beneficial environmental impacts obtained by the change of dietary habits. ●

**Alessandra De Marco**

ENEA, Technical Unit for Environmental Technologies

**Maria Velardi**

ENEA, Technical Unit for Energy and Environmental Modeling

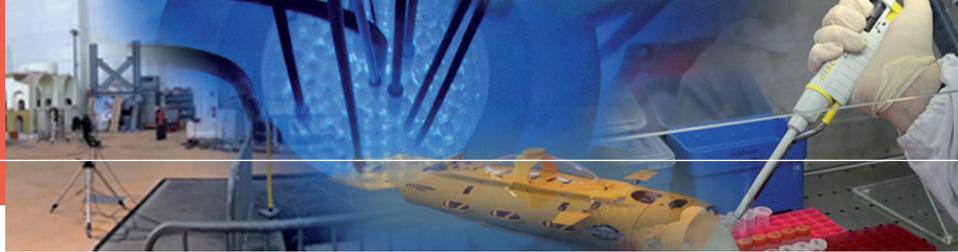
## References

- Agarwal, A., Shen, H., Agarwal, S., Rao, A.V., 2001. Lycopene content of tomato products: its stability, bioavailability and in vivo antioxidant properties. *Journal of Medicinal Food* 4(1):9-15.
- Alberti, A., Fruttini, D., Fidanza, F., 2009. The Mediterranean adequacy index: further confirming results of validity. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 19:61-66.
- Alberti-Fidanza, A., Fidanza, F., 2004. Mediterranean adequacy index of Italian diets. *Public Health Nutrition* 7:37-41.
- Alberti-Fidanza, A., Fidanza, F., Chiuchiu, M.P., Verducci, G., Fruttini, D., 1999. Dietary studies on two rural Italian population groups of the Seven Countries Study. 3. Trend of food and nutrient intake from 1960 to 1991. *European Journal of Clinical Nutrition* 53:854-860.
- Bogani, P., Galli, C., Villa, M., Visioli, F., 2007. Postprandial anti-inflammatory and antioxidant effects of extra virgin olive oil, *Atherosclerosis* 190(1):181-186.
- Bouwman L. et al., Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900-2050 period. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, (May 16, 2011).

## References

- Buckland, G., Bach, A., Serra-Majem, L., 2008. Obesity and the Mediterranean diet: a systematic review of observational and intervention studies. *Obesity Reviews* 9:582–93.
- Carlsson-Karyama, A., 1998. Climate change and dietary choices: how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23:277–293.
- Carlsson-Karyama, A., Ekstrom, M.P., Shanahan, H., 2003. Food and life cycle energy inputs: consequences of diet and ways to increase efficiency. *Ecological Economics* 44:293–307.
- Carlsson-Karyama, A., Gonzalez, A.D., 2009. Potential contributions of food consumption patterns to climate change. *The American Journal of clinical nutrition* 89(suppl):1704S–9S.
- Centers for Disease Control and Prevention, 2011. Hyattsville, MD: National Center for Health Statistics Available: [http://www.cdc.gov/tobacco/data\\_statistics/fact\\_sheets/adult\\_data/cig\\_smoking/index.htm](http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/fact_sheets/adult_data/cig_smoking/index.htm) [accessed 12 September 2011].
- Chan, D.S., Lau, R., Aune, D., Veira, R., Greenwood, D.C., Kampman, E., et al., 2011. Red and processed meat and colorectal cancer incidence: meta-analysis of prospective studies. *PLoS One* 6(6):e20456.
- Conforti, F., Sosa, S., Marrelli, M., Menichini, F., Statti, G.A., Uzunov, D., et al., 2009. The protective ability of Mediterranean dietary plants against the oxidative damage: the role of radical oxygen species in inflammation and the polyphenol, flavonoid and sterol contents. *Food Chemistry* 112(3):587–594.
- Constant, J., 1997. Alcohol, ischemic heart disease, and the French paradox. *Coronary and Artery Diseases* 8:645–649.
- Corbalán, M.D., Morales, E.M., Canteras, M., Espallardo, A., Hernández, T., Garaulet, M., 2009. Effectiveness of cognitive-behavioral therapy based on the Mediterranean diet for the treatment of obesity. *Nutrition* 25:861–869.
- Covas, M.I., 2007. Olive oil and the cardiovascular system. *Pharmacological Research* 55(3):175–186.
- de Vries M., I.J.M. de Boer, Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science* 128, 1 (2010).
- Deckers J., Should the consumption of farmed animal products be restricted, and if so, by how much? *Food Policy* 35, 497 (2010).
- Deemer D.R., L.M. Lobao, Public concern with farm-animal welfare: religion, politics, and human disadvantage in the food sector. *Rural Sociology* 76, 167 (2011).
- De Marco A, M Velardi, C Camporeale, A Screpanti, M Vitale, 2014: The Adherence of the Diet to Mediterranean Principle and Its Impacts on Human and Environmental Health. *International Journal of Environmental Protection and Policy*. 2(2):64-75.
- Dermiri, S., 2006. Towards the advancement of the Mediterranean food cultures. *Public Health Nutrition* 9(1A):103–104.
- Duchin, F., 2005. Sustainable consumption of food: a framework for analyzing scenarios about changes in diets. *Journal of Industrial Ecology* 9:99–114.
- Egan, M.E., Pearson, M., Weiner, S.A., Rajendran, V., Rubin, D., Glöckner-Pagel, J., et al., 2004. Curcumin, a Major Constituent of Turmeric, Corrects Cystic Fibrosis Defects. *Science* 304(5670): 600–602
- Engstrom, R., Wadeskog, A., Finnveden, G., 2007. Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics* 60:550–563
- Esposito, K., Ciotola, M., Giugliano, D., 2006. Mediterranean diet, endothelial function and vascular inflammatory markers. *Public Health Nutrition* 9:1073–1076.
- European Public Health Alliance (EPHA), 2012. Food Taxation in Europe: evolution of the legislation. <http://www.eph.org/a/4814>.
- Eurostat. (2010) Public Health statistics, Body mass index (BMI) by sex, age and activity status, Eurostat
- FAO, World agriculture: towards 2030/2050 : prospects for food, nutrition, agriculture and major commodity groups. (FAO, Rome, 2006).
- Federal Register 2011. Approaches to reducing sodium consumption; public meeting. Notice of public meeting; request for comments.; 76:63305 - 8. Available from: <http://www.gpo.gov/fdsys/pkg/FR-2011-10-12/html/2011-26371.htm> Accessed 18 April 2012.
- Fenech, M., Stockley, C., Aitken, C., 1997. Moderate wine consumption protects against hydrogen peroxide-induced DNA damage. *Mutagenesis* 12(4):289–296.
- Fidanza, F., Alberti, A., Lanti, M., Menotti, A., 2004. Mediterranean adequacy index: correlation with 25-year mortality from coronary heart disease in the Seven Countries Study. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 14:254–258.
- Friel S. et al., Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *The Lancet* 374, 2016 (2009).
- Galeone, C., Talamini, R., Levi, F., Pelucchi, C., Negri, E., Giacosa, A., et al., 2006. Fried foods, olive oil and colorectal cancer. *Annals of oncology* 18(1): 36–39.
- Garnett T., Where are the best opportunities for reducing greenhouse gas emissions in the food system (including the food chain)? *Food Policy* 36, S23 (2011).
- Gingras, D., Béliveau, R., 2011. Colorectal cancer prevention through dietary and lifestyle modifications. *Cancer Microenvironment* 4(2):133–139.
- Godfray H.C.J. et al., Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327, 812 (2010).
- Goulet, J., Lapointe, A., Lamarche, B., Lemieux, S., 2007. Effect of a nutritional intervention promoting the Mediterranean food pattern on anthropometric profile in healthy women from the Quebec city metropolitan area. *European Journal of Clinical Nutrition* 61:1293–1300.
- Harles E., 2012. Taxes on unhealthy foods gains taxations in Europe.
- Hawkesworth S. et al., Feeding the world healthily: The challenge of measuring the effects of agriculture on health. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 365, 3083 (2010).
- Iacopini, P., Baldi, M., Storchi, P., Sebastiani, L., 2008. Catechin, epicatechin, quercetin, rutin and resveratrol in red grape: Content, in vitro antioxidant activity and interactions. *Journal of Food Composition and Analysis* 21:589–598.
- Kastorini, C.M., Milionis, H.J., Esposito, K., Giugliano, D., Goudevenos, J.A., Panagiotakos, D.B., 2011. The Effect of Mediterranean Diet on Metabolic Syndrome and its Components. A Meta-Analysis of 50 Studies and 534,906 Individuals. *Journal of the American College of Cardiology* 57(11):1299–1313.
- Kearney J., Food consumption trends and drivers. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 365, 2793 (2010).
- Keys, A., 1980. Seven Countries: a multivariate analysis of death and coronary heart disease. London: Harvard University Press.
- Kouris-Blazos, A.K., Gnardellis, C., Wahlqvist, M.L., Trichopoulos, D., Lukito, W., Trichopoulou, A., 1999. Are the advantages of the Mediterranean diet transferable to other populations? A cohort study in Melbourne, Australia. *British Journal of Nutrition* 82:57–61.
- Krystallin A., K.G. Grunert, M.D. de Barcellos, T. Perrea, W. Verbeke, Consumer attitudes towards sustainability aspects of food production: Insights from three continents. *Journal of Marketing Management* 28, 334 (2012).
- Larsson, S.C., Wolk, A., 2006. Meat consumption and risk of colorectal cancer: a meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Cancer* 119(11):2657–2664.
- Lazarou, C., Panagiotakos, D.B., Matalas, A.L., 2009. Lifestyle factors are determinants of children's blood pressure levels: the CYKIDS study blood pressure risk factors in children. *Journal of Human Hypertension* 23:456–463.
- McMichael, A., Powles, J.W., Butler, C.D., Uauy, R., 2007. Food, livestock production, energy, climate change, and health. *Lancet* 370:1253–63.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2011 in National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, eds Value of Water Research Report Series n. 50, UNESCO-IHE Institute for Water Education (Delft, the Netherlands).
- Mendez, M.A., Popkin, B.M., Jakszyn, P., Berenguer, A., Tormo, M.J., Sánchez, M.J., et al., 2006. Adherence to a Mediterranean diet is associated with reduced 3-year incidence of obesity. *The Journal of Nutrition* 136:2934–2938.
- Nijdam D., T. Rood, H. Westhoek, The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy* 37, 760 (2012).

- Osler, M., Schroll, M., 1997. Diet and mortality in a cohort of elderly people in a North European community. *International Journal of Epidemiology* 26:155-159.
- Owen, R.W., Giacosa, A., Hull, W.E., Haubner, R., Spiegelhalter, B., Bartsch, H., 2000. The antioxidant/anticancer potential of phenolic compounds isolated from olive oil. *European Journal of Cancer* 36(10):1235-1247.
- Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Pitsavos, C., Stefanadis, C., 2006. Association between prevalence of obesity and adherence to the Mediterranean diet: the ATTICA study. *Nutrition* 22:449-456.
- Parejo, I., Viladomat, F., Bastida, J., Rosas-Romero, A., Flerlage, N., Burillo, J., et al., 2002. Comparison between the radical scavenging activity and antioxidant activity of six distilled and non-distilled Mediterranean herbs and aromatic plants. *Journal of Agricultural and food chemistry* 50(23):6882-6890.
- Popp A., H. Lotze-Campen, B. Bodirsky, Food consumption, diet shifts and associated non-CO2 greenhouse gases from agricultural production. *Global Environ. Change* 20, 451 (2010).
- Reguant-Aleix, J., Arbore, M.R., Bach-Faig, A., Serra-Majem, L., 2009. Mediterranean Heritage: an intangible cultural heritage. *Public Health Nutrition* 12(9A):1591-1594.
- Rotondi, A., Lapucci, C., 2010. Nutritional properties of extra-virgin olive oils from the Emilia-Romagna region: profiles of phenols, vitamins and fatty acids in Olives and olive oil in health and disease prevention, eds Preedy VR, Watson R (Accademy Press), pp 725-733.
- Serra Majem, L., Ribas, L., 1995, in *Metodos, Bases Cientificas y Aplicaciones*, eds. *Nutricion y Salud Publica* (Masson, Barcelona), pp: 303-10.
- Shai, I., Schwarzfuchs, D., Henkin, Y., Shahar, D.R., Witkow, S., Greenberg, I., et al., 2008. Weight loss with a low-carbohydrate, Mediterranean, or low-fat diet. *The New England Journal of Medicine* 359:229-241.
- Smil, V., 2002. Worldwide transformation of diets, burden of meat production and opportunities for novel food proteins. *Enzyme and Microbial Technology* 30:305-11.
- Sofi F, F Cesari, R Abbate, GF Gensini, A Casini, 2008. Adherence to Mediterranean diet and health status: meta-analysis. *British Medical journal*, 337: 1344.
- Stehfest E. et al., Climate benefits of changing diet. *Clim. Change* 95, 83 (2009).
- Stehfest E., M. V. D. Berg, G. Woltjer, S. Msangi, H. Westhoek, Options to reduce the environmental effects of livestock production - Comparison of two economic models. *Agricultural Systems* 114, 38 (2013).
- Thornton P.K., Livestock production: Recent trends, future prospects. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B* 365, 2853 (2010).
- Toobert, D.J., Glasgow, R.E., Strycker, L.A., Barrera, M. Jr, Ritzwoller, D.P., Weidner, G., 2007. Long-term effects of the Mediterranean lifestyle program: a randomized clinical trial for postmenopausal women with type 2 diabetes. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 4:1.
- Trichopoulou, A., Kouris-Blazos, A., Vassilakou, T., Gnardellis, C., Polychronopoulos, E., Venizelos, M., et al., 1995a. The diet and survival of elderly Greeks: a link to the past. *American Journal of Clinical Nutrition* 61(suppl): 1346-1350.
- Trichopoulou, A., Kouris-Blazos, A., Wahlgqvist, M.L., Gnardellis, C., Lagiou, P., Polychronopoulos, E., et al., 1995b. Diet and overall survival in elderly people. *British Medical Journal* 311:1457-1460.
- Trichopoulou, A., Lagiou, P., 2009. Health traditional Mediterranean diet: an expression of culture, history and lifestyle. *Nutrition Reviews* 55(11):383-389.
- Trichopoulou, A., Psaltopoulou, T., Orfanos, P., Hsieh, C.C., Trichopoulos, D., 2007. Low-carbohydrate-high-protein diet and long-term survival in a general population cohort. *European Journal of Clinical Nutrition* 61:575-581.
- Tripoli, E., Giammanco, M., Tabacchi, G., Di Majo, D., Giammanco, S., La Guardia, M., 2005. The phenolic compounds of olive oil: structure, biological activity and beneficial effects on human health. *Nutrition Research Review* 18:98-112.
- Tukker A. et al., Environmental impacts of changes to healthier diets in Europe. *Ecological Economics* 70, 1776 (2011).
- Visioli, F., Poli, A., Galli, C., 2002. Antioxidant and other biological activities of phenols from olives and olive oil, *Medicinal Research Reviews* 22:65-75.
- Wang, H., Cao, G., Prior, R.L., 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruits. *Journal of agricultural and food chemistry* 44(3): 701-705.
- Weiss F., A. Leip, Greenhouse gas emissions from the EU livestock sector: A life cycle assessment carried out with the CAPRI model. *Agric. Ecosyst. Environ.* 149, 124 (2012).
- Westhoek, H., Lesschen, J.P., Rood, T., et al., 2014. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.02.004>.
- Westhoek, H., Rood, T., van de Berg, M., Janse, J., Nijdam, D., Reudink, M., et al., 2011 in *The protein puzzle: the consumption and production of meat, dairy and fish in the European Union*, eds PBL Netherlands Environmental Assessment Agency (The Hague, Netherland).
- World Health Organization, 2008. *The World Health Report 2008 - primary Health Care (Now More Than Ever)*, eds WHO.
- WCRF, AICR. (2007) *Food, nutrition, physical activity and the prevention of cancer: a global perspective. 2nd Expert Report* ed. World Cancer Research Fund and American Institute for Cancer Research, Washington D.C.



# Large Eddy Simulation of turbulent hydrogen-fuelled supersonic combustion in an air cross-flow

The main aim of this article is to provide a theoretical understanding of the physics of supersonic mixing and combustion. Research in advanced air-breathing propulsion systems able to push vehicles well beyond  $Ma = 4$  is of interest worldwide. In a scramjet, the air stream flow captured by the inlet is decelerated but still maintains supersonic conditions. As the residence time is very short ( $<1\text{ms}$ ), the study of an efficient mixing and combustion is a key issue in the ongoing research on compressible flows. Due to experimental difficulties in measuring complex high-speed unsteady flow fields, the most convenient way to understand unsteady features of supersonic mixing and combustion is to use computational fluid dynamics. This work investigates supersonic combustion physics in the Hyshot II combustion chamber within the Large Eddy Simulation framework. The resolution of this turbulent compressible reacting flow requires: (1) highly accurate non-dissipative numerical schemes to properly simulate strong gradients near shock waves and turbulent structures away from these discontinuities; (2) proper modelling of the small subgrid scales for supersonic combustion, including effects from compressibility on mixing and combustion; (3) highly detailed kinetic mechanisms (the Warnatz scheme including 9 species and 38 reactions is adopted) accounting for the formation and recombination of radicals to properly predict flame anchoring. The simulation was performed by means of the ENEA homemade code HeaRT and it was runned on the CRESCO platform. Numerical results reveal the complex topology of the flow under investigation. The importance of baroclinic and dilatational effects on mixing and flame anchoring is evidenced. Moreover, their effects on turbulence-scale generation and the scaling law are analysed

DOI 10.12910/EAI2014-107

■ D. Cecere, E. Giacomazzi, F.R. Picchia, N.M. Arcidiacono

## Introduction

The importance of mastering hypersonics lies in applying it to space launchers and trans-atmospheric commercial vehicles. This renewed interest in high-speed flight requires significant developments, particularly, in the field of propulsion. Vehicles capable of such speeds are being tested now in the US (HyTech, HyV), Russia and the UK–Australia (HyShot), Japan, India, China, and Korea. EU is funding the project LAPCAT to study the feasibility of a long-range hypersonic commercial transport.

Propulsion systems using external air, like ramjets

and supersonic combustion ramjets, can save a large fraction of the weight (and bulk) of carrying on-board liquid oxygen (LOx). Ramjet engines, in which the incoming airflow speed is decreased to subsonic speed, can be efficiently used for  $Ma = 3\text{--}5$  flight regimes; but

Contact person: Donato Cecere  
donato.cecere@enea.it

beyond these speeds, alternative propulsion systems are required. The supersonic combustion ramjet (or scramjet) engine, where the incoming airflow is decelerated but remains supersonic, is one of the most promising propulsion options. An air-breathing launcher, using external air captured by a hypersonic engine, such as a scramjet for its first stage, may reduce orbiting costs by about one order of magnitude [1, 2].

The main problem of supersonic combustion is that the residence time at supersonic speed is very short. Hence, mixing enhancement and combustion efficiency are two key issues to be investigated. In fact, no theoretical (physical) understanding ever came out.

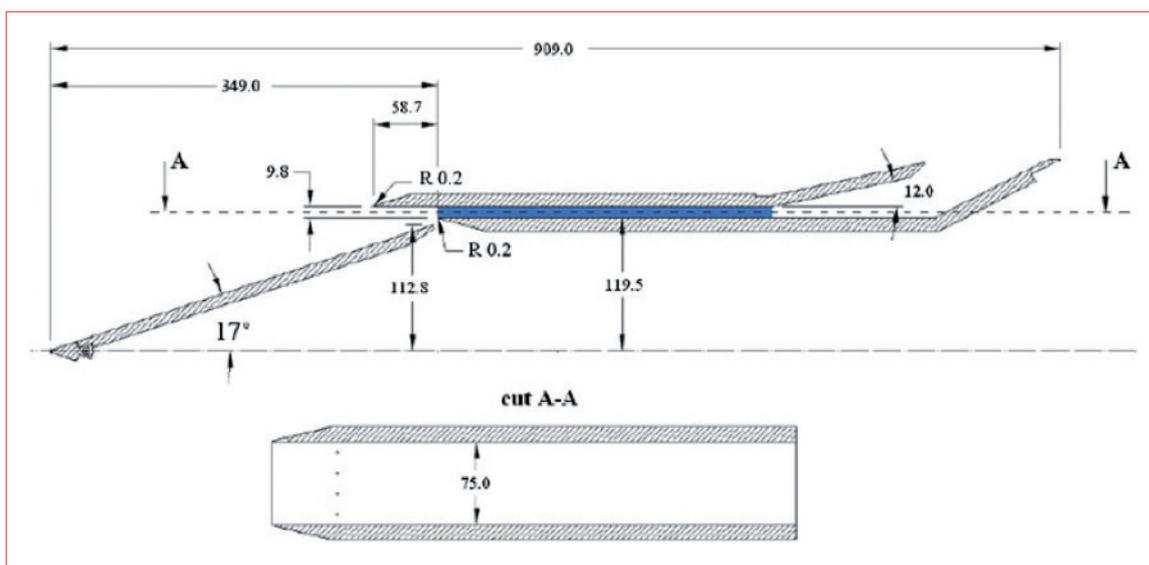
The study of mixing and combustion in supersonic flows is the topic of an on-going research, rich in problems involving theory and modelling and having fundamental and applied significance. In fact, when a gaseous fuel jet is injected into a supersonic crossflow, the fuel acts as an obstruction to the crossflow and produces a strong shock wave. This shock interacts with the boundary layer on the wall to form a complex flow system, in which supersonic and subsonic pressure regions coexist near the injector.

The purpose of this paper is to obtain additional insights into the 3D unsteady flow processes of the su-

peronic jet mixing by numerically simulating the Hyshot II test case. For this purpose, a highly accurate non-dissipative numerical scheme to properly simulate the strong gradients near the shock waves and the turbulent structures away from these discontinuities has been developed by the authors.

### The HyShot II scramjet test case

The HyShot Flight Program is an experiment designed to develop a correlation between pressure measurements of supersonic combustion in The University of Queensland's T4 shock tunnel, and that observed in flight experiments. In the flight tests, the Hyshot scramjet was accelerated up to Mach 8 using a Terrier-Orion sounding rocket. The sounding rocket reached a maximum altitude of 330 km. Before re-entry the sounding rocket and scramjet were maneuvered into the experimental altitude. Between the altitudes of 23 and 35 km, gaseous hydrogen was injected into the scramjet and pressure sampled. A flight Mach No. of 7.6 with a 3-sigma variation of 0.2 was registered. The ground-based tests were performed in the T4 shock tunnel at the University of Queensland [3] and in the High Enthalpy Shock Tunnel Göttingen (HEG) of the German



**FIGURE 1** Hyshot schematic; portion of the combustion chamber simulated in blue

Aerospace Centre (DLR) [4, 6], at different conditions so as to obtain correlations with flight-based tests. The HyShot scramjet geometry used in the ground experiments features a rectangular air intake 305-mm long and 100-mm wide, a combustor 300-mm long and 75-mm wide and 98-mm high, a thrust plate 200-mm long x 75-mm wide. The intake is a 17° inclined wedge compressing the incoming hypersonic flow (Figure 1). The combustor hosts 16 pressure transducers starting from 90 mm downstream of the combustor leading edge. Distance between nearby pressure transducers is 13 mm. The thrust plate is at 12° with respect to the airstream path and is equipped with 11 pressure transducers, located 11 mm downstream of the combustor exit. The gaseous hydrogen is injected in crossflow with respect to the incoming air by means of four 2-mm portholes injectors, located 40 mm downstream of the leading edge of the combustor inner surface. In this work, the design condition defined as 0° angle of attack, nominal altitude of 28 km and flight Mach number of  $Ma = 7.6$  has been selected for numerical simulations. The associated scramjet inlet conditions are those reported in Table 1 [3]. The global equivalence ratio is 0.426. The only available ground experimental data at these conditions are pressure history and wall distribution from the University of Queensland [3]. Wall pressure, heat transfer, and OH distribution from DLR are instead available at different equivalence ratios and angles of attack not analysed in the present study [6]; therefore, only qualitative comparisons are provided with those results. However, in [3], the effect of the angle of attack on the pressure history has been studied, whereas in [4], the effect of the equivalence ratio is analysed.

	Air inlet	Fuel inlet
Pressure (Pa)	82,210	307,340
Mach no.	2.79	1
Density (kg/m <sup>3</sup> )	0.2358	0.3020
Temperature (K)	1,229	250
Sound speed (m/s)	682.9	1201.4
Flow velocity (m/s)	1905.291	1204.4

**TABLE 1** Combustor inlet flow conditions for the test at 0° angle of attack analysed in this work

## Numerical simulation

In the present study, the blue portion of the combustion chamber sketched in Figure 1 is simulated using the inlet flow conditions reported in Table 1. To properly simulate the flow velocity at the combustor entrance, a realistic velocity profile has been imposed at the combustor inlet as the well developed boundary layer must be taken into account. This profile has been obtained numerically by Jeung et al. [7], and also includes the effect of the intake. In the present simulation, no synthetic turbulence was generated at the inlet. The vortical structures predicted develop naturally due to the strong turbulence forcing in the flow field, e.g. the bow shock and the strong gradients at walls. At the inlet, all quantities are prescribed, except density in the subsonic regions, by means of characteristics inflow boundary conditions. Partially non-reflecting boundary conditions have been implemented (following the NSCBC technique [8, 9]) to reduce the numerical reflection of acoustic waves back into the computational domain, where subsonic regions are present. Because of the short-testing time, all walls are assumed to be adiabatic. In fact, since the Large Eddy Simulation (LES) is necessarily much shorter than the flight time, it is likely to have no large differences in the results obtained using a fixed wall temperature boundary condition, or a nil heat diffusive flux. Actually, for a fixed wall boundary condition the heat diffusion characteristic time (about  $10^{-2}$  s) is longer than the characteristic convective time (about  $10^{-4}$  s) of the flow.

In the present LES simulation, the fuel hole geometry is treated by means of an immersed boundary technique [10, 11].

## Transport equations

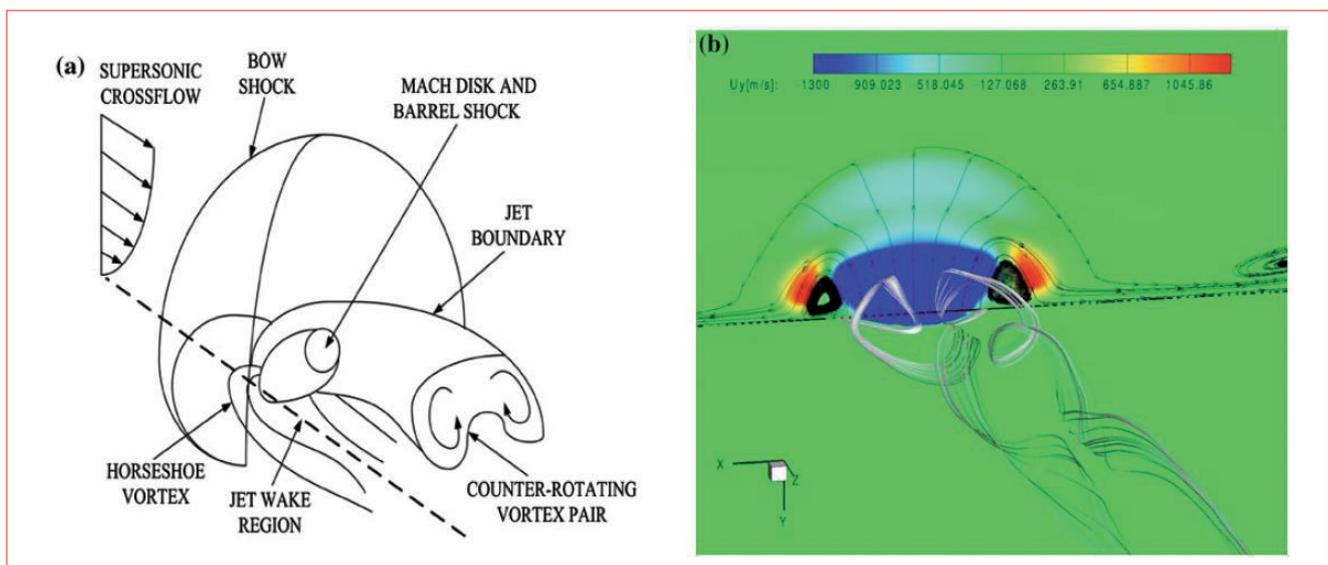
In LES, each turbulent field variable is decomposed into a resolved and a subgrid-scale part. In this work, the spatial filtering operation is implicitly defined by the local grid cell size. Variables per unit volume are treated using the Reynolds decomposition; the Favre, density weighted, decomposition is used to describe quantities per mass unit. The instantaneous small-scale fluctuations are removed by the filter, but their statistical effects remain inside the unclosed terms representing the influence of the subgrid scales on the resol-

ved ones. Gaseous combustion is governed by a set of transport equations expressing the conservation of mass, momentum and energy, and by a thermodynamic equation of state describing the gas behaviour. The spatially filtered Navier–Stokes equations are solved by means of a finite difference method on a Cartesian non-uniform grid in a collocated cell-centred variable arrangement, together with an explicit, fully compressible solver. In writing the numerical scheme, the focus was on the numerical approximation of the derivatives in the advection terms at the resolved scales. Due to the high gradients in the flow, fluxes are evaluated by a hybrid method capable of capturing shocks without introducing numerical unphysical oscillations in regions where high gradients are present and, at the same time, capable of resolving with low-dissipation turbulent structures away from discontinuities. Convective fluxes have been calculated by means of a shock capturing or a low-dissipation scheme, accordingly to a sensor based on the density and pressure fields [22]. In the shock capturing scheme, the reconstruction of the Riemann problem (necessary in a compressible flow to correctly evaluate gasdynamic properties evolution) at the cell interface is performed by means of a

Weighted Essentially Non Oscillatory (WENO) of order 3–5 scheme. The interface fluxes from the reconstructed states have been obtained by implementing the approximate hybrid HLLC/HLLD Riemann solver [25]. In the region, where the flow is smooth, the convective derivatives are determined by means of a fourth-order central finite difference scheme [26]. Time integration is performed by means of the fully explicit third-order accurate TVD Runge-Kutta scheme of Shu and Osher [27]. For numerical stability the time-step was about  $10^{-9}$  s. The N.-S. equations are thus fully coupled. The simulation was performed by means of the ENEA homemade code HeaRT and it was run on the CRESCO platform.

### Numerical results

The results of the 3D LES of the HyShot II combustor with a grid of 52M cells are now shown. The computational grid is more refined close to and within the flow injectors, and stretched in the second half of the combustor. A grid sensitivity analysis was performed in [29]. In that paper, three different grids were adopted: a coarse grid of 14M cells, a grid of 52M cells and a refined grid of 71M cells (these grids were refined close to and within the flow injectors, and stretched in the se-



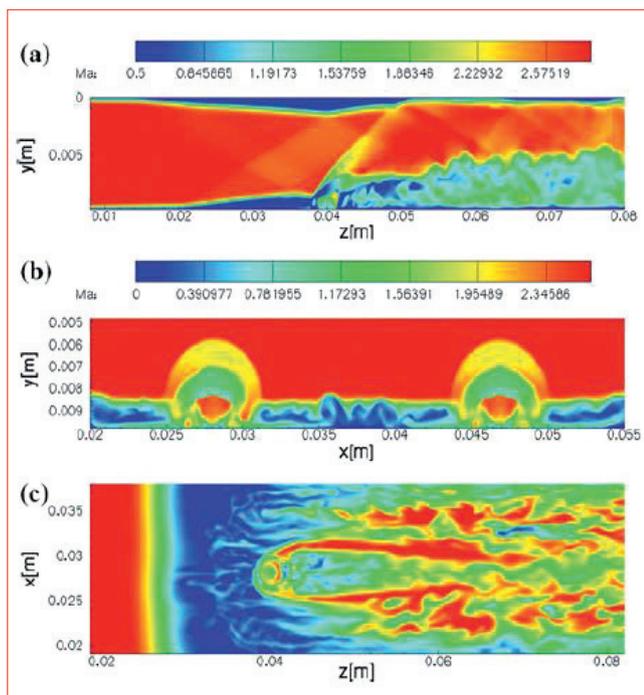
**FIGURE 2** Schematic of transverse injection into a supersonic flow [32] (a). Side views near a hydrogen injection hole of the HyShot II scramjet engine, showing a slice of  $U_y$  velocity field at  $x = 0.0281$  m and a counter-rotating vortex pair (b)

cond part of the combustor). Differences between the intermediate and the refined grid were negligible; in particular, comparison showed that the larger turbulence structures and the shock waves were well predicted for both the two different grids. The recirculation region located upstream and downstream of the jet injection was well identified for both grids, but it was much more spread for the refined grid; the hydrogen jet was also less identifiable at the end of the combustor and the flame diffusion was higher. In fact, a critical role in the fuel/air mixing is given by the small vortex structures arising from the boundary layer and providing the convection of H<sub>2</sub> within the upstream and downstream recirculation region, between the injectors, at the air/fuel interface and downstream of the shock waves. For these three grids, going from the more refined to the coarser grid,  $u^*y/\nu$  (where  $u$  is the velocity,  $y$  the distance from the wall, and  $\nu$  is the kinematic viscosity) goes  $y^+$  from  $\sim 2.5$  to 4 and 15. In [28], it was observed

that mainly streamwise streak structures arise in the range of  $y^+ = 5$  to 40–50. Hence,  $y^+ \sim 4$  adopted in the present simulation guarantees the streaks formation at the wall, their evolution within the turbulent boundary layer and the outer flow, and the shock boundary layer interaction.

As a preliminary conclusion by [29], it was stated that when the focus is on the physical understanding of mixing and combustion in supersonic flows and on the vorticity generation and transport it is important to have a rather refined grid, when the focus is posed on the flame-anchoring prediction or combustion efficiency calculation, also a coarser grid ( $y^+$  not higher than 5), but always able to capture the 3D shock structures, the shock boundary layer interaction and the large-scale turbulent structures are enough. The numerical results of the HyShot II scramjet engine (see [30] for other details) show that the hydrogen jets expand rapidly, obstructing the supersonic crossflow and producing a 3D bow shock ahead of each injector, as shown in Figure 2. In Figure 3a, clearly identified are the formation of shock waves at the upper wall combustor entrance, the generation of a train of shock waves reflecting from the bottom wall and impinging the flame front, the formation of the 3D bow shock due to the H<sub>2</sub> crossflow injection within the airstream, the barrel shock, and Mach disk (see also Figure 3b).

Figure 3 shows that the bow shock is located about 1 mm ahead of the transverse fuel injection: here the temperature increases, reaching about 2,200 K. Once hydrogen is injected within the airflow, it expands rapidly reaching its lower temperatures ( $T = 150$  K) before barrel-shock recompression. The pressure increase due to this recompression is responsible for the boundary layer thickening and separation (located 20 mm upstream of the injectors, see Figures 3a–c, 5) and a consequent formation of the hairpin shocks (see Figure 4); here, two spanwise vortices are trapped within, approximately, the subsonic recirculation region between the upper wall and the shocks. Hydrogen penetrates the airflow of 2.5D at a streamwise distance of 7D from the center of the injection hole. The bow shock strength varies with respect to the distance measured from the injector wall. Away from the wall, the bow shock curves around the injectant plume. Due to the expansion of the

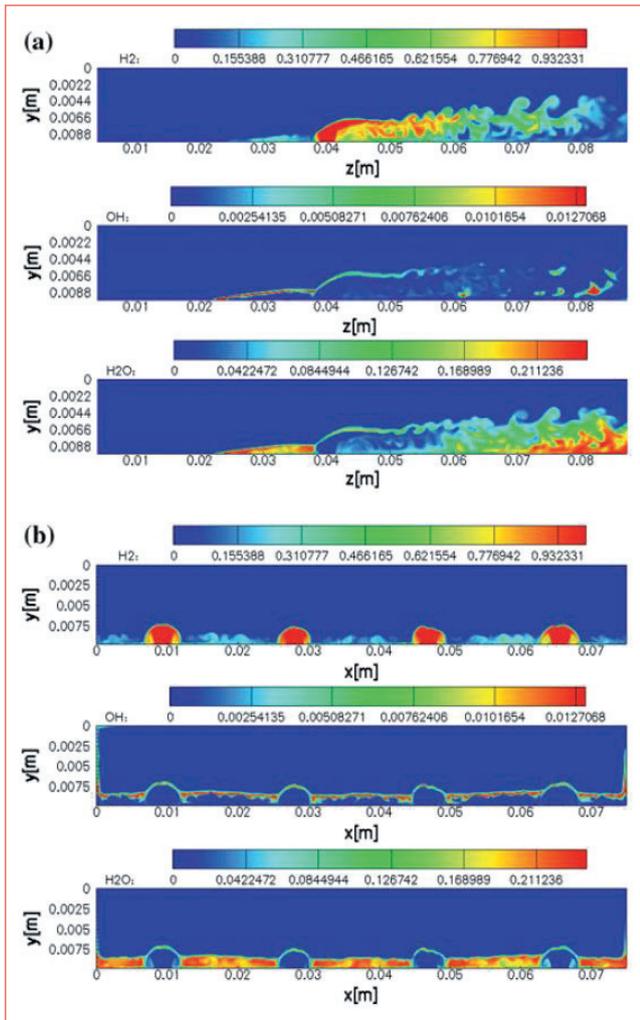


**FIGURE 3** Instantaneous snapshots of the Mach number in the HyShot II scramjet engine: midline plane  $x/d = 14.15$  (a), transverse plane  $z/D = 30$  (b), and wall-parallel plane  $y/D = 0.5$  (c)

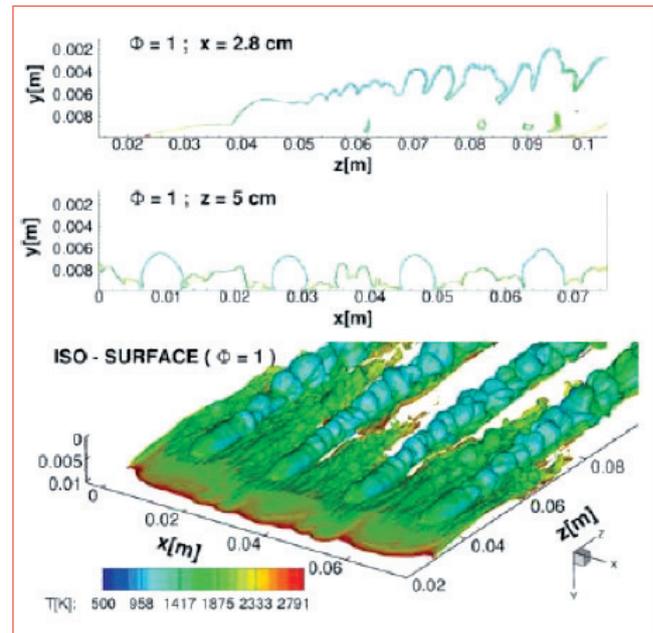
injected jet and its interaction with the bow shock, complex shock waves are generated in the injectant plume, including a barrel shock and a Mach disk. Furthermore, the adverse pressure gradient close to hydrogen injection causes the separation of the upstream wall boundary layer, also revealed in the experimental tests above an equivalence ratio of 0.474 [6, 31]. Hence, a subsonic region is formed (see Figure 3) where hydrogen and air mix quickly (see Figure 4) and consequently the fla-

me holds, as evidenced by OH and H<sub>2</sub>O concentrations, and temperature distributions in Figures 4, 5, 6 and 7, in qualitative agreement with the experimental excited OH\* radicals reported in Figures 8 and 9.

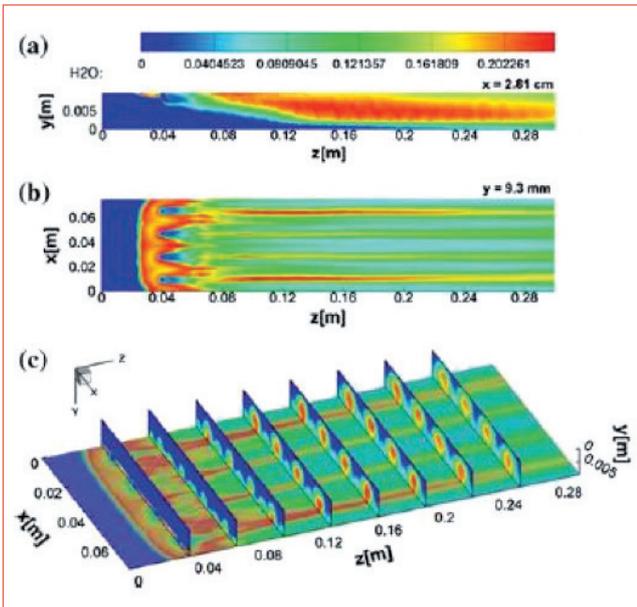
Note that the experimental visualization of OH\*, OH\*-excited radicals, captured by means of chemiluminescence, is at a lower equivalence ratio and higher angle of attack than those numerically simulated. Actually, the numerical OH prediction is qualitatively closer to the numerical results predicted in [6], where the presence of OH, both in front of the injection point and in the shear layer immediately downstream of the injectors, was predicted. In fact, as already explained by Laurence et al., numerical results show levels of the OH molecule, rather than the OH-excited radical. However, the axial location of the onset of the main combustion region and the penetration of the flame into the combustion chamber further downstream show reasonable agreement. Furthermore, qualitative comparisons between numerical and experimental OH predictions show a good agreement, predicting high-OH presence at the combustor exit.



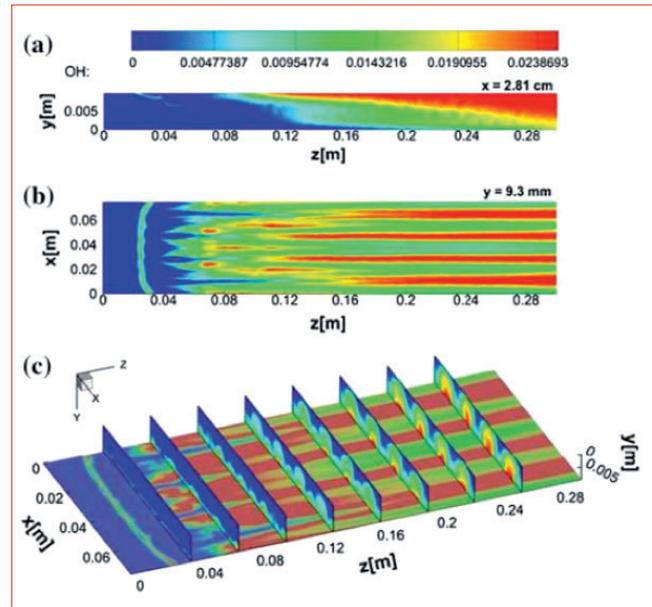
**FIGURE 4** Instantaneous mass fraction fields for H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, OH at the plane  $x = 2.81$  cm (a), and instantaneous mass fraction fields for H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, OH at the plane  $z = 4.0$  cm (b) in the HyShot II scramjet engine



**FIGURE 5** Instantaneous stoichiometric flame surface coloured by temperature, and section views of numerical results of the HyShot II scramjet



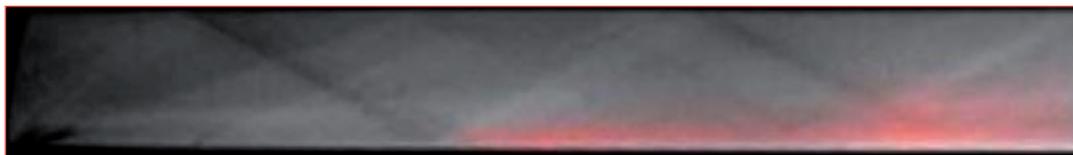
**FIGURE 6** Averaged H<sub>2</sub>O mass fraction in the HyShot II scramjet engine



**FIGURE 7** Averaged OH mass fraction: midline plane  $x/d = 14.15$  (a), transverse plane  $z/D = 30$  (b), and wall-parallel plane  $y/D = 0.5$  (c)



**FIGURE 8** Experimental composite OH\* visualization for an equivalence ratio of 0.35



**FIGURE 9** Composite experimental Schlieren image with composite OH\* levels superimposed (red) near the hydrogen injection point (lower left) for an equivalence ratio of 0.35

Numerical simulations show that in the recirculation zone mixing is mainly driven by spanwise vortices, whereas in the jet shear layer it is driven by streamwise structures that increase the interfacial fuel/air area and convect hydrogen from the jet core outwards. Due to the blockage of the supersonic cross flow by the fuel injection (the momentum depending also on the equivalence ratio), a horseshoe vortex tube is formed near the wall. In the injectant plume, a pair of counter-rotating

vortex tubes are also developed. The streamwise counter-rotating vortex pair contributes to engulf the air freestream, and the horseshoe vortex wraps around the hydrogen jet and flows downstream along the wall transporting hydrogen there, as shown in Figure 4. Close to the combustor exit, the flame occupies the whole combustor section. There, a high OH concentration (about 25%) is observed, due to the H<sub>2</sub>O dissociation produced by the high temperatures. In about 15

orifice diameters (3 cm downstream of hydrogen injection) the fuel fraction is reduced by 50%. The combustion efficiency at the outlet of the combustion chamber

$$\eta^c = 1 - \left( \int_A \bar{\rho} |\tilde{u}| Y_{H_2} dA \right) / (\bar{\rho} |\tilde{u}| Y_{H_2})_{inlet}$$

$\rho$  density  
 $Y_{H_2}$  mass fraction of  $H_2$   
 $u$  velocity

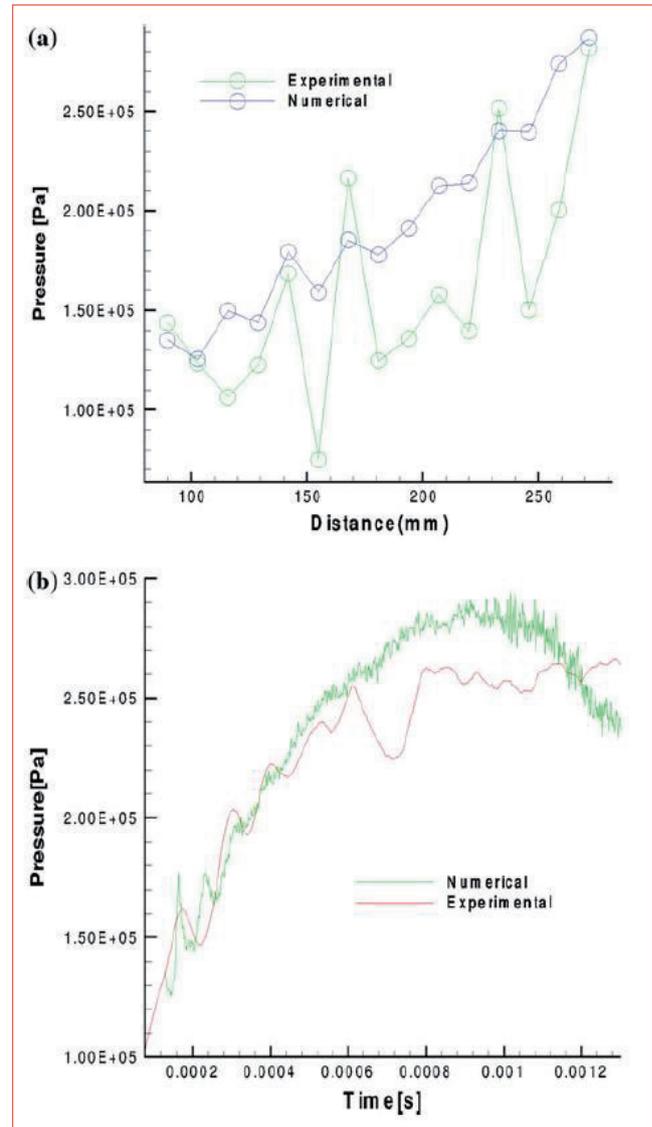
is found to be about 87.65%.

Figure 10a compares the numerical and the HyShot-T4 Supersonic Combustion (Queensland) experimental pressure distribution along the upper wall ( $Y = 0.0098$  m) of the combustion chamber at  $X = 3.5$  cm and 1.32 ms. The trend is well predicted in the first part of the combustor, where the grid is much more refined. Better agreement near the exit region needs a finer grid to capture shock reflection.

A good agreement was also obtained in Figure 10b, comparing numerical and HyShot-T4 Supersonic Combustion (Queensland) experimental pressure time evolution at a point on the upper wall ( $Y = 0.0098$  m and  $Z = 0.272$  m). Actually, these numerical results show a better trend agreement with the High Enthalpy Shock Tunnel Göttingen (HEG) experimental results, where the pressure jumps are less sharp with respect to the HyShot-T4 Supersonic Combustion Experiments (Queensland). Unfortunately, only conditions at a non  $0^\circ$  angle of attack have been performed in the HEG, thus no quantitative comparisons with these data are feasible [4].

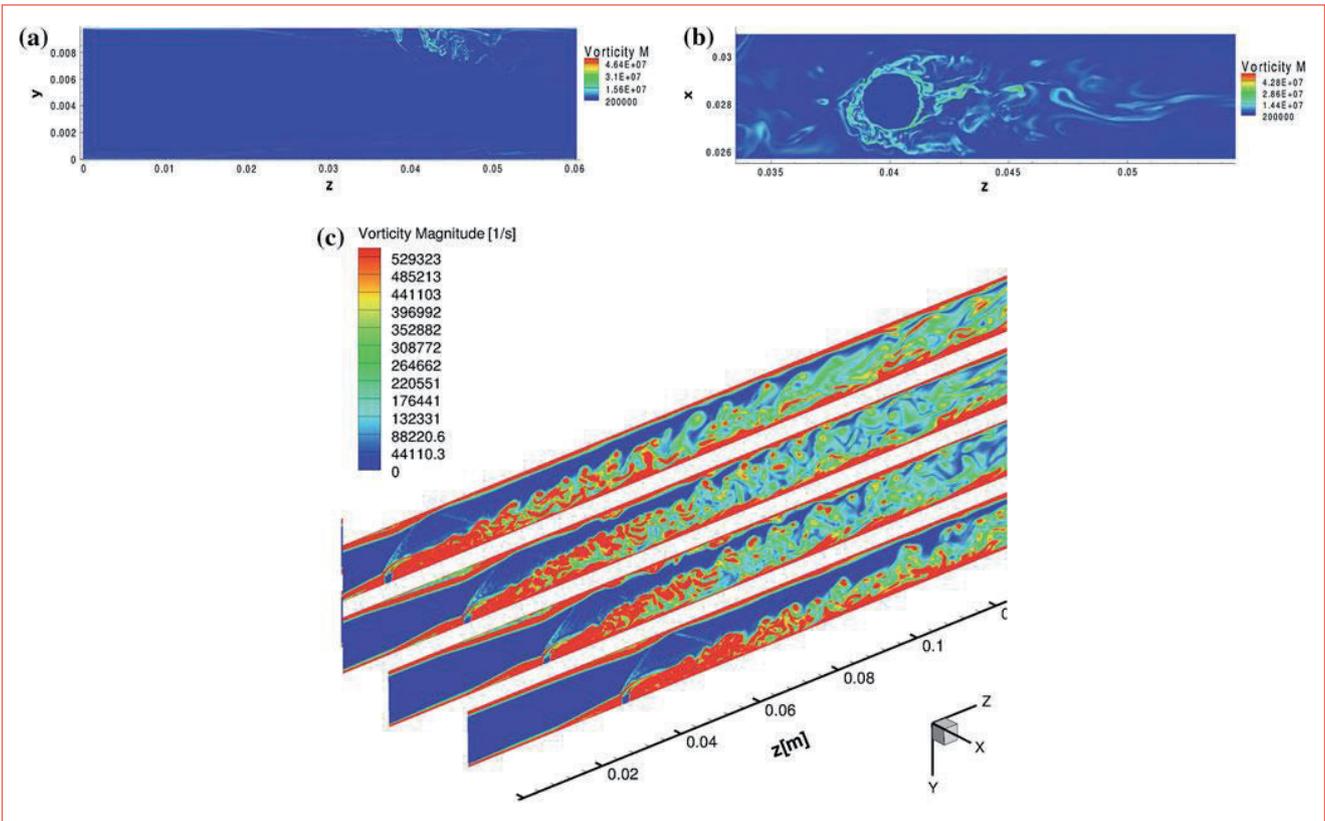
### Mixing in supersonic flows

Theoretical results in [33] showed that in supersonic flows the compressibility, vortex stretching and baroclinic terms of vorticity equation are all of the same order of magnitude. Experimental and numerical results, respectively in [34] and [30], confirmed these expectations and showed that these terms can contribute to air/fuel mixing and combustion in an equal way but in different regions. Moreover, experimental observations proved that streamwise vorticity, easily found in supersonic combustion, enhances mixing at the molecular level and leads to short flames and efficient combustion [34-39]. Figure 11 shows that the vorticity is approximately zero about the exit of the hydrogen injector. Then, it becomes extremely high ( $\sim 10^6$  Hz) immediately af-



**FIGURE 10** Comparison of numerical and HyShot-T4 Supersonic Combustion (Queensland) experimental pressure distribution along the upper wall at  $X = 3.5$  cm (a). Comparison of numerical and HyShot-T4 Supersonic Combustion (Queensland) experimental time evolution at a point on the upper wall ( $Y = 0.98$  cm and  $Z = 27.2$  cm) (b)

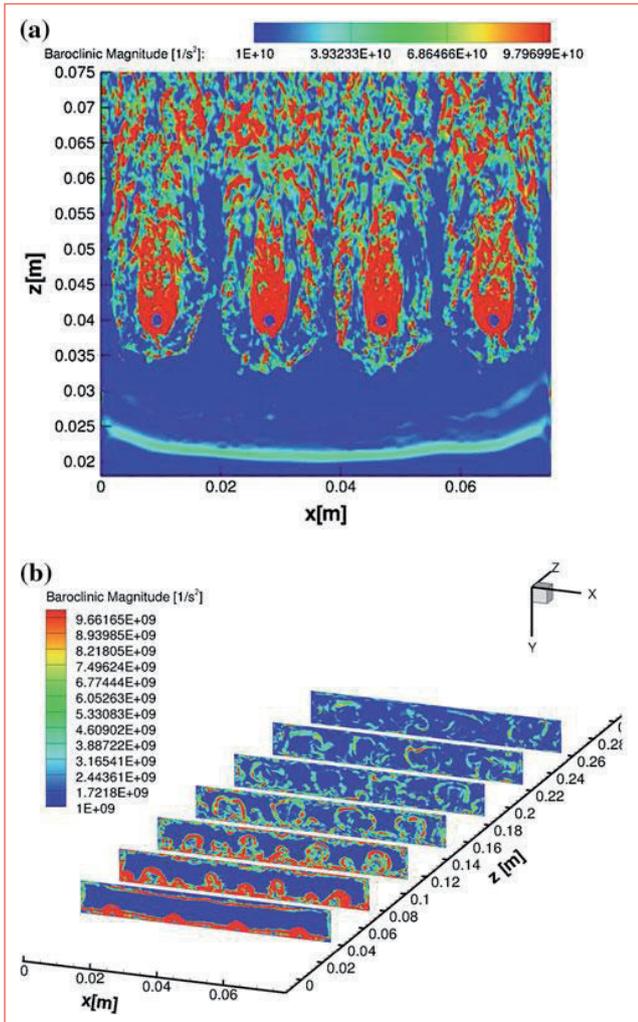
ter it penetrates the airflow core, where, accordingly, mixing times should be  $\sim 10^{-6}$  s. In the region upstream of the fuel injection, the vorticity magnitude is  $\sim 10^7$  Hz. Here, the larger contribution to vorticity is given by the spanwise and crosswise vorticity components. Down-



**FIGURE 11** Instantaneous flowfields of vorticity magnitude in the HyShot II scramjet engine at  $x/d = 14.15$  (a) and at the wall-parallel plane  $y/d = 1$  (b). Flowfields of vorticity magnitude at constant X planes are in c, with a range scale smaller than in a and b to cut out peaks in the  $H_2$  injection region

stream, due to the interaction between  $\omega_x$  (vorticity) and the transverse velocity gradients, vortex stretching tilts vorticity in the streamwise direction, resulting in the formation of horseshoe vortices (see Figure 2). The baroclinic effect (due to the coupling of density and pressure gradients and generally negligible in subsonic non-reacting flows) is particularly effective in producing the rapid mixing and the consequent anchoring in the present supersonic test case (see Figure 12). In fact, shock waves generate high density and pressure gradients. The highest peak of the baroclinic term, of the order of  $10^{12} \text{ s}^{-2}$ , is located where the hydrogen jet rapidly expands and strong shock structures are present. Here, the coupled effect of high density and pressure gradients is enhanced by the low hydrogen density ( $\rho \sim 0.03 \text{ kg/m}^3$ ).

Physically speaking, the baroclinic term supplies the rate at which the vorticity is generated and pumped into the flow. In practice, this means that if there were no dissipative phenomena and if the baroclinic-driven spin acceleration was constant, e.g.,  $10^{12} \text{ s}^{-2}$ , the spin speed, i.e., the vorticity, would increase by  $10^9 \text{ Hz}$  each ms. This is in essence the baroclinic mechanism enhancing mixing in supersonic combustion. It is per se a key observation for applications, because it underlines the importance of the combustor geometry and injector configurations. Indeed, in that presented here, the pressure and density gradients are due to “shocks” triggered by the crossflow  $H_2$  injection. However, the strong source of vorticity notwithstanding, this injector configuration may result in significant total pressure losses and lower thrust. Other injector configurations with the



**FIGURE 12** Baroclinic term magnitude in the HyShot II scramjet engine: slices on the four middle-plane inlet orifices (a), slices at different  $z$  planes from  $z/d = 20$  to  $z/d = 130$  (b)

same capability to produce vorticity, but with (presumably) lower total pressure loss, should be investigated.

#### Effects of compressibility on turbulent scaling and scales

In supersonic flows, far from shocks and walls, the vorticity and the velocity vectors are expected to be nearly aligned [34], i.e., turbulent structures are mainly streamwise. This implies that in those regions the helicity  $H = \omega \cdot \mathbf{u}$  (where  $\omega$  is the vorticity and  $\mathbf{u}$  the velocity vector) nearly peaks. The helicity gives a reasonable idea of the rotational acceleration of the flow. When

helicity locally peaks, the term of vorticity transport equation responsible for the turbulent kinetic energy cascade in subsonic flows, composed by the convective transport and the vortex stretching terms, i.e.,  $\nabla \times (\omega \times \mathbf{u}) = (\mathbf{u} \cdot \nabla) \omega - \omega \cdot \nabla \mathbf{u}$ , reaches a minimum. Thus, where helicity locally peaks, the classic contributions to the turbulent kinetic energy cascade in subsonic flows are negligible and the baroclinic and dilatational terms of the vorticity transport equation could be responsible for a turbulent energy decay different from the well-known  $-5/3$  Kolmogorov scaling [33].

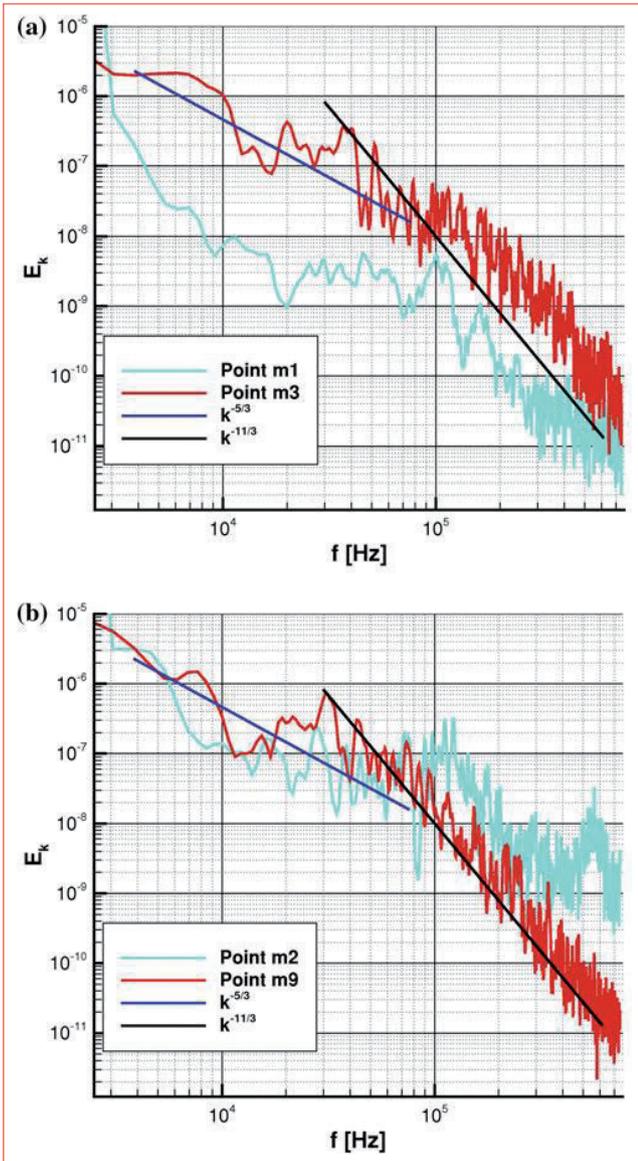
In [33], a slope steeper than Kolmogorov's  $-5/3$  was theoretically found. In particular, by means of the Buckingham–Riabucinski ( $\pi$ ) theorem applied to the turbulent kinetic energy per unit mass and wave number with functional dependencies on the wave number  $k$ , the dissipation rate per unit volume  $\rho \varepsilon$ , and the mass  $M$ , it was observed that  $E \sim Ck^{-11/3} (\rho \varepsilon)^{2/3} M^{-2/3}$ . DNS simulations [40] also revealed a  $k^{-4}$  decay in the kinetic energy spectrum, and experiments in [41] showed a  $k^{-11/3}$  decay in the core of flows at Mach 6 up to 7.5.

To verify the slope deviation from that predicted by the Kolmogorov theory, energy spectra at different “probed” points of the HyShot II supersonic combustion chamber have been derived. The sampling time is 1.3 ms (with 1,955 samples), so the resolution in frequency ( $\sim 770$  Hz) is coarse at large scales. Hence, low frequencies in Figure 13 are not shown. The sampling frequency is about 1.5 MHz: according to the Nyquist–Shannon sampling theorem, the maximum frequency that can be observed is thus 750 kHz.

The first probe (m1) is located upstream of the injectors at about half height ( $y = 4.5$  mm); the second one (m2) is located at the same height but a little further downstream of the bow shock.

The other two (m3 and m9) are located in the middle of the combustor close to the wall (injection side) at  $z = 9$  cm and  $z = 16.8$  cm, respectively: they are inside the central vortex core and subjected to alternating compression and expansion cycles due to the interaction of the shocks formed by the two central injection jets.

At all points, the spectra show an inertial decay with a slope close to  $-11/3$  for frequencies higher than  $10^5$  Hz, and a tendency for a  $-5/3$  scaling at lower frequencies. The spectrum at point 2 shows a smaller range of frequencies with a  $-11/3$  scaling, with a bump likely due



**FIGURE 13** Turbulent kinetic energy spectra at some locations in the HyShot II scramjet engine, non-dimensionalized by their own variance and then normalized by the maximum amplitude among the four spectra

to the instability of the bow shock and to the strong expansion wave immediately after it. Due to the need, in scramjet engines, to mix and burn in a very short distance, the conclusions on the steeper scaling and on the larger dissipative scales in supersonic flows are important. In fact, when dissipative scales

are larger, the mixing between fuel and oxidizer, occurring at molecular (dissipative) scales, can take place at larger ones. In other words, the turbulent kinetic energy cascade from integral to dissipative scales requires less scales to be completed. This conclusion has consequences also on reaction regime(s) and on combustion modelling. Indeed, in supersonic combustion, smaller Eddies may become larger than the flame thickness; if so, the smallest vortices can only wrinkle the flame without entering it. A second conclusion of importance to modellers is that any Computational Fluid Dynamic approach (CFD) must account for the above-stated findings when building an SGS model.

### Conclusions

Numerical, experimental and theoretical results show the importance of understanding the physics of compressible flows and, in particular, mixing and combustion. In this paper, LES of the HyShot II test case confirms that air/hydrogen mixing (promoted by high streamwise and spanwise vorticity) and chemical kinetics are very fast, allowing complete combustion in the HyShot II ground tested combustor. The spectral analysis of turbulent kinetic energy has shown that the inertial range slope of turbulent kinetic energy versus wave number becomes steeper than that predicted by the Kolmogorov theory, beyond a certain high frequency. This steeper slope is in agreement with theoretical expectations and with experimental measurements in other test cases. Hence, dissipative scales are expected to be larger than in the subsonic regime. This conclusion is important both from a numerical and a physical point of view, justifying the quick mixing in supersonic flows and providing some guidelines on modelling turbulent scales in Large Eddy Simulation. From the numerical point of view, these results are very strong since they imply that, in order to capture, all the different scales of turbulence and, then, the major part of turbulent kinetic energy in a simulation, it is not necessary to have the same fine grid resolution as a subsonic flow, with a consequently saving of computational time.

Donato Cecere, Eugenio Giacomazzi,  
Franca Rita Picchia, Nunzio M. Arcidiacono  
ENEA, Sustainable Combustion Processes Laboratory

1. Townend, L.H.: Domain of the Scramjet. *Journal of Propulsion and Power* 17(6), 2317–2334 (2001)
2. Fry, R.S.: A Century of Ramjet Propulsion Technology Evolution. *Journal of Propulsion and Power* 20(1), 27–58 (2004)
3. Frost, M., Paull, A., Alesi, H.: HyShot T4Supersonic Combustion Experiments, Report for NAG- 1–2113 (2001), [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20000037781\\_2000047702.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20000037781_2000047702.pdf)
4. Hannemann, K., Karl, S., Schramm, J.M., Steelant J.: Methodology of a Combined Ground Based Testing and Numerical Modelling Analysis of Supersonic Combustion Flow Paths. *Shock Waves*, 20:353–366, doi: 10.1007/s00193-010-0269-8 (2010)
5. Laurence, S., Martinez Schramm, J., Karl, S., Hannemann, K.: An Experimental Investigation of Steady and Unsteady Combustion Phenomena in the HyShot II Combustor. *AIAA Paper* 2011–2310
6. Laurence, S., Martinez Schramm, J., Karl, S., Hannemann, K.: Ground-based Testing of the Hyshot II Combustor Using OH\* Chemiluminescence. In Proceedings of the 7th European Symposium on Aerothermodynamics for Space Vehicles, Brugge, Belgium, 9–11 May (2011)
7. Won, S.H., Jeung, I.S., Choi, J.Y.: Turbulent Combustion Characteristics in HyShot Model Combustor with Transverse Fuel Injection. In Proceedings of the 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA paper 2007–5427
8. Poinso, T.J., Lele, S.K.: Boundary Conditions for Direct Simulations of Compressible Viscous Flow. *Journal of Computational Physics* 101, 104–129 (1992)
9. Polifke, W., Wall, C.: Non-reflecting Boundary Conditions for Acoustic Transfer Matrix Estimation with LES, pp. 345–356. Proceedings of Summer Program, Center for Turbulence Research, Stanford, USA (2002)
10. Verzicco, R., Mohd-Yusof, J., Orlandi, P., Haworth, D.: Large Eddy Simulation in Complex Geometry Configurations Using Boundary Body Forces. *AIAA J.* 38, 427–433 (2000)
11. Verzicco, R., Iaccarino, G., Fatica, M., Orlandi, P.: Flow in an Impeller Stirred Tank Using an Immersed Boundary Method. *Annual Research Briefs, NASA Ames Research Center/Stanford University Center for Turbulence Research.* pp. 417–44 (2000)
12. Hirschfelder, J.O., Curtiss, C.F., Bird, R.B., Spotz, E.L.: *The Molecular Theory of Gases and Liquids.* John Wiley, New York (1954)
13. Bird, R.B., Stewart, W.E.: *Lightfoot. Transport Phenomena,* Wiley International Edition, E.N. (2002)
14. Wilke, C.R.: A Viscosity Equation for Gas Mixtures. *J. Chem. Phys.*, 18:4:517–519, <http://dx.doi.org/10.1063/1.1747673> (1950)
15. Kee, R.J., Dixon-Lewis, G., Warnatz, J., Coltrin, M.E., Miller, J.A., Moffat, H.K.: *The CHEMKIN Collection III: Transport.* Reaction Design (1998)
16. Mathur, S., Tondon, P.K., Saxena, S.C.: Thermal Conductivity of Binary, Ternary and Quaternary Mixtures of Rare Gases. *Molecular Physics* 12(6), 569–579 (1967)
17. Giacomazzi, E., Picchia, F.R., Arcidiacono, N.M.: A Review on Chemical Diffusion, Criticism and Limits of Simplified Methods for Diffusion Coefficients Calculation. *Combustion Theory and Modelling*, 12:1, 135–158. <http://dx.doi.org/10.1080/13647830701550370> (2008)
18. Giacomazzi, E., Bruno, C., Favini, B.: Fractal Modelling of Turbulent Mixing. *Combustion Theory and Modelling* 3, 637–655 (1999)
19. Giacomazzi, E., Bruno, C., Favini, B.: Fractal Modelling of Turbulent Combustion. *Combustion Theory and Modelling* 4, 391–412 (2000)
20. Giacomazzi, E., Battaglia, V., Bruno, C.: The Coupling of Turbulence and Chemistry in a Premixed Bluff-Body Flame as Studied by LES. *Combustion and Flame* 138, 320–325 (2004)
21. Sankaran, V., Porumbel, I., Menon, S.: Large Eddy Simulation of a Single-Cup Gas turbine Combustor Flows. In Proceedings of the 39th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA paper 2003–5083
22. Génin, F., Menon, S.: Studies of Shock/turbulent Shear Layer Inter-action Using Large Eddy Simulation. *Computers and Fluids* 39, 800–819 (2010)
23. Magnussen, B.F.: *The Eddy Dissipation Concept for Turbulent Combustion Modeling. Its Physical and Practical Implications.* Norwegian Institute of Technology, Report N-7034, Trondheim, Norway, October 17 (1989)
24. Maas, U., Warnatz, J.: Ignition Processes in Hydrogen-Oxygen Mixtures. *Combustion and Flame* 74, 53–69 (1988)
25. Kim, S.D., Lee, B.J., Lee, H.J., Jeng, I., Choi, J.: Realization of Contact Resolving Approximate Riemann Solvers for Strong Shock and Expansion Flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 62(10), 1107–1133 (2010)
26. Nelson, C., Menon, S.: Unsteady Simulations of Compressible Spatial Mixing Layers. In proceeding of the 36th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA paper 98–0786. <http://dx.doi.org/10.2514/6.1998-786>
27. Shu, C.W., Osher, S.: Efficient Implementation of Essentially Non-oscillatory Shock-capturing Schemes. *J. Comput. Phys.* 77, 439–471 (1988)
28. Lesieur, M.: *Turbulence In Fluids,* Springer (2008)
29. Cecere, D., Ingenito, A., Romagnosi, L., Bruno, C., Giacomazzi, E.: Shock/Boundary Layer/Heat Release Interaction in the HyShot II Scramjet Combustor. In Proceeding of 46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, AIAA paper 2010–7066
30. Cecere, D., Ingenito, A., Giacomazzi, E., Romagnosi, L., Bruno, C.: Hydrogen/air Supersonic Combustion for Future Hyper-sonic Vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* 36(18), 11969–11984 (2011)
31. Karl, S., Schramm, J.M., Laurence S., Hannemann K.: CFD Analysis of Unstart Characteristics of the HyShot II Scramjet Configuration in the HEG Shock Tunnel. In Proceedings of the 17th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technology Conference, AIAA paper 2011–2309
32. Ben-Yakar, A., Mungal, M.G., Hanson, R.K.: Time Evolution and Mixing Characteristics of Hydrogen and Ethylene Transverse Jets in Supersonic CrossFlow. *Physics of Fluids* 18(2), 26101–26116 (2006)
33. Ingenito, A., Bruno, C.: Physics and Regimes in Supersonic Combustion. *AIAA Journal* 48, 515–525 (2010)
34. Nishioka, M., Sakaue, S., Komada, K., Sakoshi, H., Furukawa, I.: Mixing Transition in Supersonic Streamwise Vortices. *Fluid Mechanics and its Application* 79, 249–258 (2006)
35. Dimotakis, P.E.: Turbulent Mixing. *Annual Review of Fluid Mechanics.* 37, 329–356 (2005)
36. Swithenbank, J., Chigier, N. A.: Vortex Mixing for Supersonic combustion. In Proceedings of the 21st International Symposium on Combustion, The Combustion Institute, 12:1:1153–1162 (1969)
37. Gerlinger, P., Stoll, P., Kindler, M., Schneider, F., Aigner, M.: Numerical Investigation of Mixing and Combustion Enhancement in Supersonic Combustors by Strut Induced Streamwise Vorticity. *Aerospace Science and Technology* 12, 159–168 (2008)
38. Doermer, S.E., Cutler, A.D.: Effects of Jet Swirl on Mixing of a Light Gas Jet in a Supersonic Airstream. *NASA CR-1999-209842* (1999)
39. Marzouk, Y. M., Ghoniem, A. F.: Mechanism of Streamwise Vorticity Formation in Transverse Jets. In Proceedings of 40th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit (2002), AIAA paper 2002–1063
40. Kida, S., Orszag, S.A.: Energy and Spectral Dynamics in Decaying Compressible Turbulence. *Journal of Scientific Computing* 7(1), 3–34 (1992)
41. Biagioni, L., D’Agostino, L.: Measurement of Energy Spectra in Weakly Compressible Turbulence. In Proceedings of 30th AIAA Fluid Dynamics Conference, Norfolk, VA (1999)
42. Kritsuk, A.G., Padoan, P., Wagner, R., Norman, M.L.: Scaling Laws and Intermittency in Highly Compressible Turbulence. *AIP Conference Proceedings* 932, 393–399 (2007)



# A combined anode nickel-titanium dioxide nanotube for photo-electrolysis

In this article we have studied a composite anode of nickel and an array of highly aligned TiO<sub>2</sub> nanotubes, obtained by a previous galvanostatic anodization treatment in an organic solvent. The electrochemical performances of the composite anode were estimated in a prototype of photo-electrolyser, that disclosed a good solar conversion efficiency together with a reduction of energy loss. The composite electrode makes our system able to work both in the dark and under solar light exposition, thus opening new outlooks for industrial-scale uses

DOI 10.12910/EAI2014-108

■ A. Pozio, A. Masci, M. Pasquali

## Introduction

The photo-generation of hydrogen from the splitting of water using solar energy has been one of scientists' objectives since the early 1970s, when Fujishima et al. [1] gave an account of the generation of H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> in a photoelectrochemical cell (PEC) using a titanium oxide electrode brightened with UV light.

More recently, Gong et al. [2] gave birth to a new synthesis model for the TiO<sub>2</sub> nanotubes based on the anodic oxidation of a titanium foil in ammonium fluoride solutions. This method has paved the way to a new approach able to combine an easy preparation of the material with a full control of physical characteristics of the nano-system [3-6].

Due to the peculiar geometric shape of nanotubes, particularly applicable as photo-anode in a cell of photoelectrolysis [7], many studies have been addressed towards this application, arriving to report elevated values of UV photo-conversion efficiency for these nano-systems [8,9]. On the other hand, although many improvements have been reached, the high band-gap of titania limits the light adsorption only to a restricted UV region. [7]. Moreover, also the titania electro-catalytic activity for the oxygen evolution reaction (OER) is very small, if compared with that obtained on conventional metallic electrodes (Pt, Ni etc). This limits the use of the titanium oxide due to the low current density

generated both in the conventional and photo-assisted modes. For this reason, a different approach can be beneficial, based on the use of a composite electrode able to guarantee a high electrocatalytic activity for the OER, but exploiting the photo-activity in order to decrease the power consumption. Such kind of electrode could be used in a photo-assisted electrolyser in the presence of a solar light source. Previously, most researchers have centered their study on the doping of TiO<sub>2</sub> nanostructures, mainly in order to shift the adsorption of light toward the visible energy region [10-23]. As an alternative, the usage of co-catalyst to increase in reactivity was first observed for the photo-conversion of water into H<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> by means of the Pt-TiO<sub>2</sub> electrodes [24]. The presence of metals in a semiconductor can change the photo-catalytic process by changing the properties of the semiconductor surface. The metal can improve the yield of a specific product or the speed of the photo-catalytic reaction. At the same time, the metal can also be important be-

Contact person: Alfonso Pozio  
alfonso.pozio@enea.it

cause of its electro-catalytic activity. Typical inorganic catalysts for water oxidation include oxides of nickel, ruthenium, cobalt and iridium, etc [25]. The deposition of  $\text{NiO}_x$ ,  $\text{IrO}_x$ ,  $\text{CoO}_x$  and  $\text{RuO}_x$  co-catalysts on n-semiconductors enhances the activity for oxygen evolution. In particular, Ni and Co oxides were found to be good catalysts in the alkaline environment [26,27]. In the past, Dinca et al. [27] introduced the self-assembly of a highly active nickel-based  $\text{O}_2$  evolving catalyst that forms as a thin film on inert electrodes when aqueous solutions of  $\text{Ni}^{2+}$  salts are electrolyzed in the presence of phosphate or borate [44]. These authors pointed out that this catalyst can be produced *in situ* under mild conditions on a variety of conductive substrates, and it discloses high activity for *OER* at room temperature. This catalyst showed long-term stability in water without corrosion, thus permitting to store energy with devices that are inexpensive and with a high manufacturability. Besides, Shrestha et al. have loaded with Ni oxide nanoparticles self-organized  $\text{TiO}_2$  nanotubes grown by anodization of titanium in glycerol-water electrolyte containing fluoride, by a simple technique of precipitation in chemical bath [28]. The synergy of the metal and semiconductor component is essential for enhancing the performance of nano-composites in the photo-catalysis process [29]. In this work we have tried a different *modus operandi*, the mechanical pairing of semiconductor/metal in order to produce a large surface electrode. We embedded the disks of  $\text{TiO}_2$  nanotubes/titanium, directly into a porous nickel sheet, using a cold pressing method. The result was a PEC with a new innovative design, in which the anode is formed by a series of electrodes of  $\text{TiO}_2$  nanotubes that are inserted tightly on porous nickel. Such coupling could allow to exploit both the electro-catalytic property of Nickel for the  $\text{O}_2$  evolution and the photo-catalytic property of  $\text{TiO}_2$ . We have seen that the composite Nickel- $\text{TiO}_2/\text{Ti}$  electrodes possess different properties with respect to the single component. The composite electrode could represent a valid alternative able to ensure the functioning of the anode in the photo-assisted (presence of UV) or conventional (without UV) mode. In our tests a prototype of electrolyser, with a large anode, has been examined in the direct sunlight to evaluate its performance.

## Experimental

### Materials and preparatives

Small disks ( $\varnothing$  15 mm x 0.5 mm) of commercial titanium (Pure grade 3 - Titania, Italy) have been selected as substrate for the nanotube anodic growth. The unmodified sample ( $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ ) was prepared with the same methodology developed in other previous articles [9,30]. Briefly, after 3 min. pickling in a 1:3 HF/ $\text{HNO}_3$  (Carlo Erba) diluted solution, the titanium disks have been placed into a three-electrode cell containing a 1 M KOH solution (Carlo Erba) and then subject to a 1  $\text{mA}/\text{cm}^2$  current density for 3 min. The counter-electrode was a platinum sheet, while the reference was a standard calomel electrode (SCE). The anodic growth of the nanotube arrays has been obtained in a two-electrode cell with a platinum counter electrode, using a glycol ethylene (Ashland) solution with 1 %wt.  $\text{H}_2\text{O}$  and 0.2 %wt.  $\text{NH}_4\text{F}$ , and applying 60 V for 3 h by means of a potenziostat/galvanostat PS251-2 (Aldrich). The current has been measured with a Keithley 2000 multimeter and acquired with a Madge-Tech Volt101 digital recorder, placed in series with a calibrated resistance (300  $\Omega$ ) Leeds and Northrup (Figure 1).

After the anodization, the sample was washed in glycol ethylene and left overnight in a dry room. Then, in or-

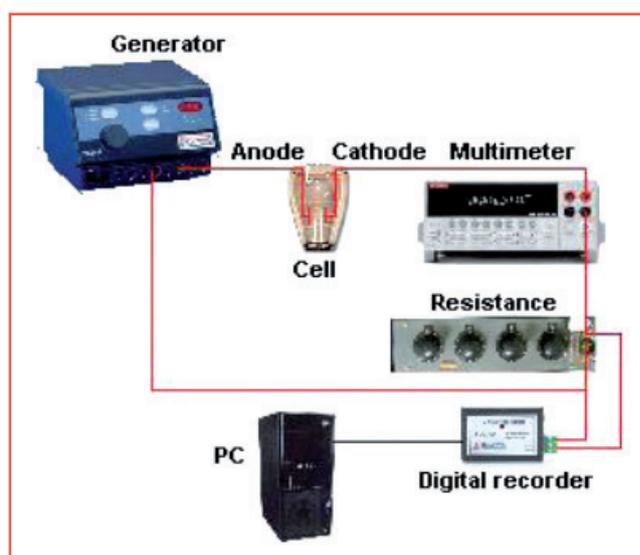
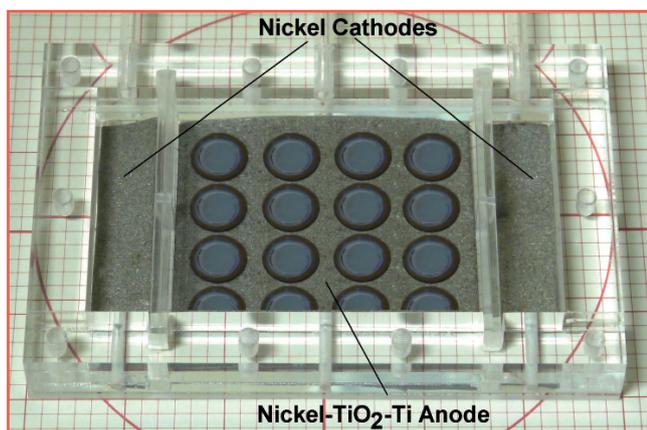
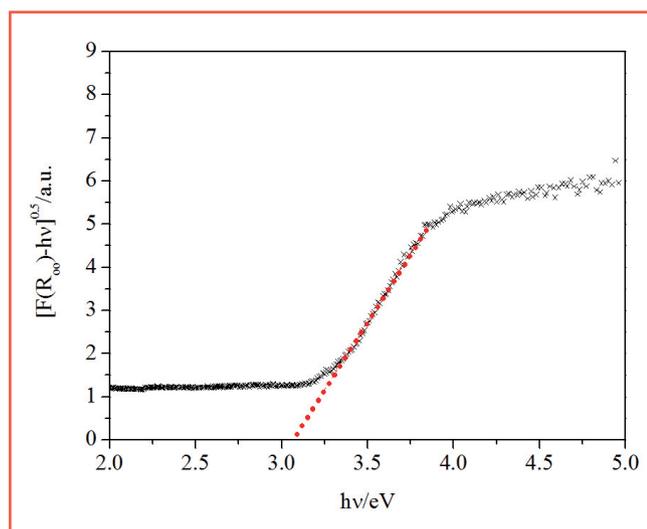


FIGURE 1 Scheme of the anodization system



**FIGURE 2** Photo-electrolysis cell with composite TiO<sub>2</sub>/Ti-Nickel anode

der to transform amorphous TiO<sub>2</sub> nanotubes into the anatase phase, the samples were first heated at 90 °C in vacuum for 3 hours and subsequently placed into a tubular furnace (Lenton) for 1 h at 580 °C with a slope of 1 °C/min in air. Sixteen TiO<sub>2</sub>/Ti samples were embedded in a porous nickel sheet. The titanium disks were placed on a 50 cm<sup>2</sup> foil of porous, ductile nickel (2 mm thickness) and cold embedded, by applying a pressure of 50 bar by means of a hydraulic press (ATS Faar). The



**FIGURE 3** The transformed Kubelka-Munk function vs. energy of excitation source for TiO<sub>2</sub>/Ti (x)

final results was a 16-TiO<sub>2</sub>/Ti disk well framed inside the porous structure, as shown in Figure 2.

#### Electrochemical measurements

The electrochemical measurements on the composite 16-TiO<sub>2</sub>/Ti-Nickel sample were executed using a home-made, plexiglas electrolysis cell (30 cm<sup>3</sup>) (Figure 2). Photo-electrolysis Tests, UV or non-UV (dark), were performed on the cell, between 1.4 to 2.0 V, in a configuration with two electrodes (sample working/Ni counter) in potassium hydroxide, 1 M electrolyte, at room temperature.

The anodic and cathodic chambers were separated with a porous, gas-proof felt (Testori-Italy). During the photo-electrolysis, the cell was tested by direct exposition to sunlight all day long. The photo-current measurements were carried out by exposing the cell to direct sunlight, measuring the visible radiation and its UV-A component by means of a photo radiometer HD2302 (Delta-Ohm).

#### UV-vis absorption spectra

The diffuse reflectance spectrum of a single TiO<sub>2</sub>/Ti sample disk was obtained using a Lambda 9 spectrophotometer, equipped with an integrating sphere. The reflectance data was converted to the absorption coefficient  $F(R_{00})$  values according to the Kubelka-Munk equation [31,32]:

$$F(R_{\infty}) = \frac{(1 - R_{\infty})^2}{2R_{\infty}} \quad (1)$$

The absorption coefficient  $F(R_{00})$  and the bandgap  $E_g$  are related through the equation [33]:

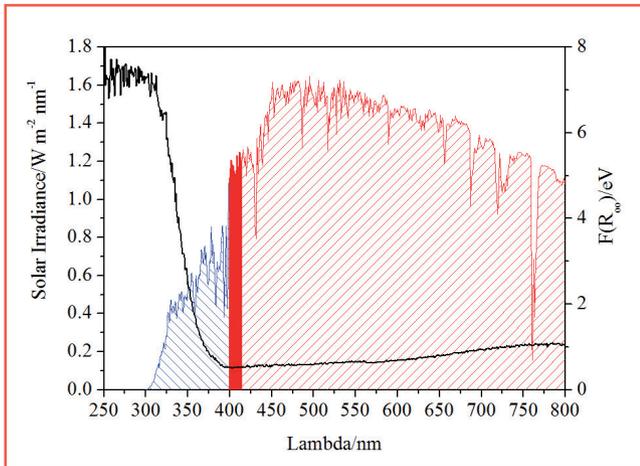
$$[F(R_{\infty}) * hv]^S = hv - E_g \quad (2)$$

where  $\nu$  is the frequency,  $h$  is the Planck's constant, and  $S=0.5$  for indirect bandgap material [7]. In this way, the plotting of  $[F(R_{\infty}) * hv]^{0.5}$  vs.  $hv$ , the so-called Tauc plot, allows to obtain the optical band-gap by dropping a line from the maximum slope of the curve to the x-axis [34-37].

## Results and discussion

#### Analysis of the absorbance spectra

The energy of band gap ( $E_g$ ) of a single TiO<sub>2</sub>/Ti sample disk was calculated using the Tauc plot (Figure 3), as previously described, obtaining a value of 3.096 eV corresponding to a wave length of 413 nm.

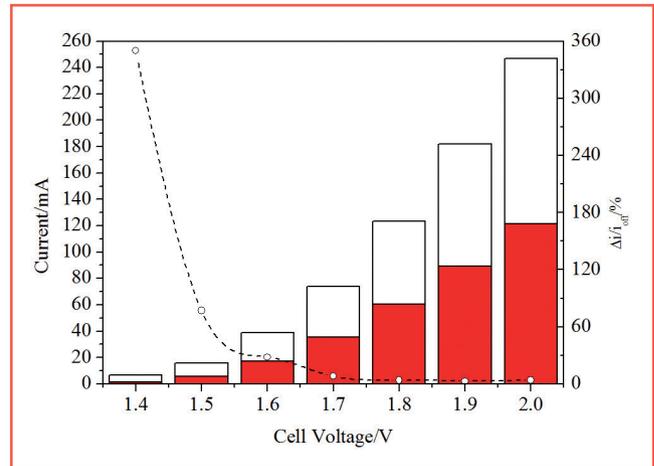


**FIGURE 4** The global solar irradiance in the UV (—) or Visible (—) region [7] at AM 1.5 and absorption coefficient spectra of the TiO<sub>2</sub>/Ti (—) according to the Kubelka-Munk equation

The global solar irradiance [7] at air mass 1.5 is showed in Figure 4 together with the diffuse absorbance spectra of a Ti/TiO<sub>2</sub> sample, obtained by the Kubelka-Munk equation. The titanium sample starts to absorb for  $\lambda \leq 413$  nm but, with the main absorbance in the UV range 300÷400 (open blue area) that corresponds to about 5.95 % of solar global irradiance (among 300÷1050 nm). As can be seen from Figure 4, in the visible range 400÷413 nm, only a very small part (full red area) of the global solar irradiance (open red area) can be absorbed by the TiO<sub>2</sub> sample.

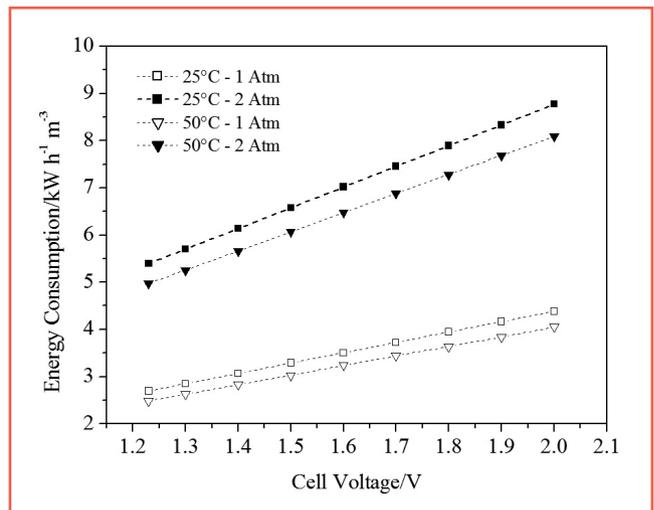
#### Analysis of the electrolysis cell performance

Figure 5 shows the electrolysis current obtained at different electrolysis cell voltages between 1.4-2.0 Volts, under on- and off-UV conditions, and the relative change of current with respect to the value  $i_{off}$ . The measurement shows that using the anode composite Nickel-TiO<sub>2</sub>/Ti within an electrolyser, additional photocurrent can be generated so as to produce hydrogen even at very low voltage values (i.e. 1.4 V). Particularly, the onset voltage of the electrolysis was decreased of about 100 mV, from 1.5 to 1.4 Volt in the presence of UV-A light. The efficiency of a hydrogen generator can be evaluated through the amount of energy consumed per cubic meter of hydrogen produced under standard temperatu-



**FIGURE 5** Current vs cell voltage with Ni-TiO<sub>2</sub>/Ti anode at UV-on (□) and UV-off (■) and relative change of current density (—○—) in KOH 1 M at 25 °C, UV-A intensity 62 W m<sup>-2</sup>

re (25 °C) and pressure (1 atm) conditions. In such conditions, a conventional electrolyser with an efficiency of 100% ( $V_{Bias} = 1.23$  Volt) has an ideal energy consumption of about 2.7 kWh m<sup>-3</sup>. With increasing applied voltage ( $V_{Bias}$ ) the power consumption increases proportionately and the energy consumption, of course, depends inversely on temperature and directly on pressure (Figure 6).



**FIGURE 6** Energy consumption vs cell voltage at different pressure and temperature values

The energy consumption (kWh) for the electrolyser can be calculated as follows:

$$P = i_{\text{off}} V_{\text{Bias}} \times 10^{-3} \quad (3)$$

where  $i_{\text{off}}$  is the electrolysis current. For a photo-electrolyser, the energy consumption is always expressed by Eq. 3, which only considers the current supplied from the external generator ( $i_{\text{off}}$ ), while the volume of hydrogen produced in cubic meters will be given by

$$V(H_2) = \frac{i_{\text{on}} 3600}{2F} RT \quad (4)$$

where the faradic yield is given by the total current ( $i_{\text{on}}$ ),  $F$  is the Faraday's constant,  $R$  the gas constant and  $T$  the temperature ( $^{\circ}K$ ). Therefore, the energy consumption of the photo-electrolyser, expressed in kWh  $m^{-3}$  will be given by the ratio of eqs. 3 and 4:

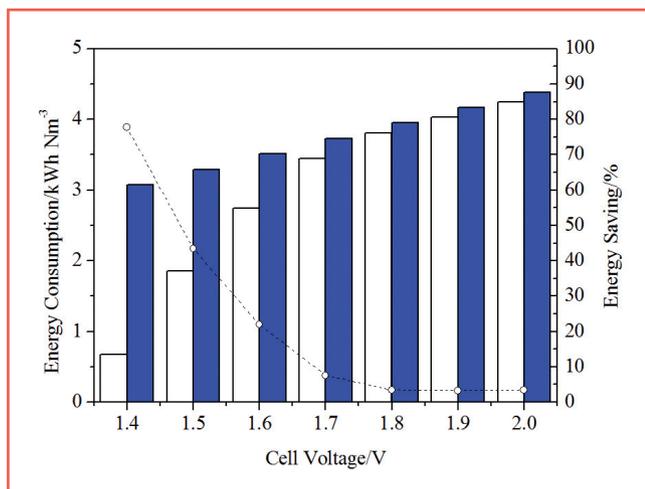
$$U(H_2) = \frac{P}{V(H_2)} = \text{const} \frac{i_{\text{off}} V_{\text{bias}}}{i_{\text{on}}} \quad (5)$$

where all parameters are measured experimentally. As can be observed from Eq. 5, when the electrolyser is not illuminated the power consumption is simply given by the product of the voltage applied to a constant. If there is photo-current instead, consumption will decrease in proportion to the decrease of the ratio  $i_{\text{off}}/i_{\text{on}}$ . The value of the constant, of course, depends inversely on the temperature (2.02 to 50  $^{\circ}C$ , 2.19 to 25  $^{\circ}C$  and 2.39 at 0  $^{\circ}C$ ) and directly on the pressure (4.38 to 2 bar

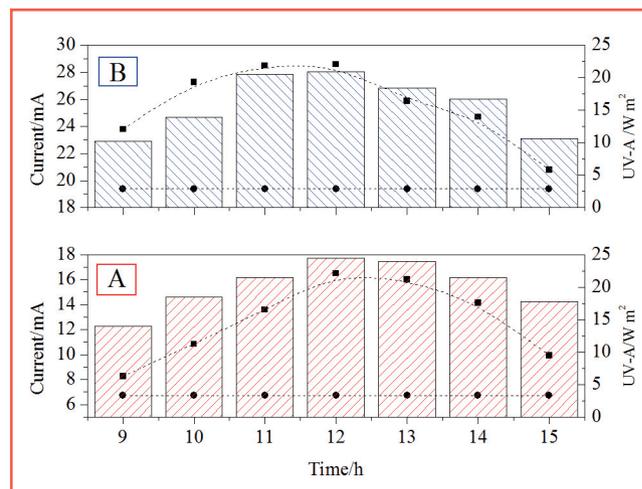
abs and 25  $^{\circ}C$ ). The energy consumption of the cell per  $m^3$  of  $H_2$  produced under standard conditions (Eq. 5) was calculated as a function of the voltage applied to the cell in the photo-assisted and conventional modes. Figure 7 shows that the maximum energy saving occurs at low voltage and tends to decrease asymptotically by increasing this up to 2 V, that is approx. 3.5%.

Based on the results so obtained, we performed measurements in conditions of direct exposure to the sunlight at two given voltages, 1.5 and 1.6 V, which are most visible photo-electrolytic effects.

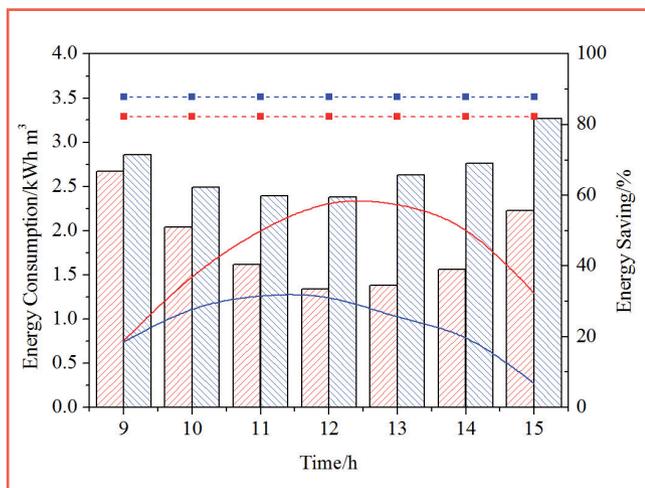
Figure 8 shows the electrolysis current obtained at a cell voltage of 1.5 V and 1.6 V as a function of time under direct exposure to the sunlight, and the same current registered by shielding the cell. The figures also show the UV-A intensity over time. The trend evidences a maximum current in the central hours of the morning corresponding to the maximum UV-A. The UV-A radiation intensity was between 10.2–24.5  $W m^{-2}$ , representing approximately 3% of the incident global radiation. Finally, for both tests the energy consumption of the cell per  $m^3$  of  $H_2$  generated at 1 atm and 25  $^{\circ}C$  (Eq. 5) was achieved as a function of the voltage applied to the electrolyser in the photo-assisted or conventional mode (Figure 9). The graph also displays the reference value of energy consumption always evaluated in standard condi-



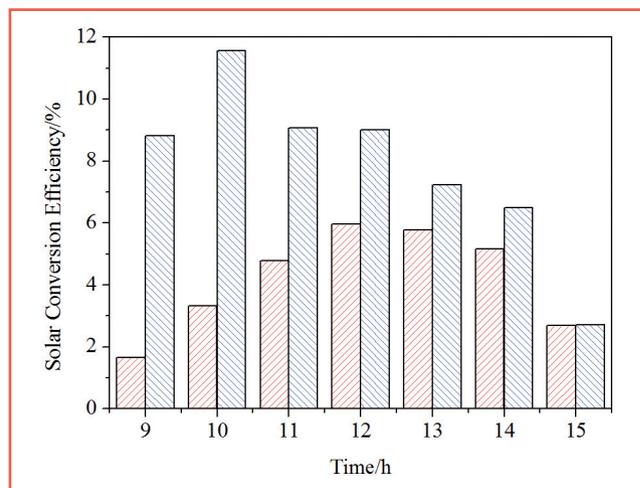
**FIGURE 7** Energy consumption vs cell voltage with Nickel-TiO<sub>2</sub>/Ti anode at UV-on (□) and UV-off (■) and relative energy saving (–○–) in KOH 1 M at 25  $^{\circ}C$ , UV intensity 62  $W m^{-2}$



**FIGURE 8** Electrolysis current vs time with direct solar exposition (–■–) or dark (–●–) and UV-A intensity (bar) in KOH 1 M at 25  $^{\circ}C$  at 1.5 V (A) and 1.6 V (B)



**FIGURE 9** Photo-electrolyser energy consumption for  $\text{m}^3$  of  $\text{H}_2$  at 1.5 V (■) or 1.6 V (■) under direct solar exposition and relative energy saving (— or —). Dashed lines represent the energy consumption in dark at 1.5 V ( $3.29 \text{ kWh m}^{-3}$ ) (—■—) and at 1.6 V ( $3.51 \text{ kWh m}^{-3}$ ) (—■—)



**FIGURE 10** Solar conversion efficiency vs time with direct solar exposition at 1.5 V (■) and 1.6 V dark (■) in KOH 1 M at  $25^\circ\text{C}$

tions and in the absence of illumination at 1.5 V and 1.6 V. It is noted that the increase in light radiation produces an increase in the saving of energy, which is maximum in the central day hours and between 30÷60%, depending on the voltage applied to the PEC. Besides, the solar conversion efficiency  $\eta_c$  for the photo-electrolysers was calculated by the following expression [7]:

$$\eta_c = \frac{i_{ph}(1.23 - V_{bias})}{I_r A} \quad (6)$$

where  $V_{bias}$  is the voltage applied to the cell,  $i_{ph}$  the photo-current as the difference among  $i_{on}$  and  $i_{off}$ ,  $A$  is the irradiated area ( $1.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ) and  $I_r$  the UV-A irradiance intensity throughout the day ( $\text{W m}^{-2}$ ).

Figure 10 shows the solar conversion efficiency at a  $V_{bias}$  of 1.5 and 1.6 volt throughout the day. In both cases, the efficiency shows a maximum value, respectively 12% at 1.6 V and 6% at 1.5 V. The mean efficiency throughout the day was 4.2% at 1.5 V and 7.8% at 1.6 V.

## Conclusion

In this work, we have detailed a preliminary study for a new composite electrode made of porous nickel and an array of highly ordered  $\text{TiO}_2$  nanotubes. The analysis reveals that the composite electrode could represent a valid

alternative able to guarantee the functioning of the anode in both photo-assisted (presence of UV) and conventional (without UV) modes. In the case of the composite material, of course, the photo-electrochemical efficiency banks mainly on the component  $\text{TiO}_2/\text{Ti}$ , while the support of nickel ensures the catalytic activity in the absence of light. Moreover, a composite multi-anode was appraised with direct solar light exposition in a small photo-electrolyser. The system exhibited a good solar conversion efficiency together with a decrease in energy consumption. The results have demonstrated that a photo-electrolyser, operating with a cell voltage of 2 V and with a correct insulation guaranteed by its proper design and optimal management of the gas products, could reduce its energy demand by at least 3.5%.

## Acknowledgments

We thank Dr. Alberto Mittiga (ENEA, Technical Unit for Renewable Energy Sources) for the Absorption Spectra measurements. ●

Alfonso Pozio, Amedeo Masci  
ENEA, Technical Unit for Renewable Energy Sources

Mauro Pasquali  
University of Rome "Sapienza"

## References

1. A.K. Fujishima, K. Honda, *Nature*, 238 (1972) 37738
2. A. Gong, C.A. Grimes, O.K. Varghese, W. Hu, R.S. Singh, Z. Chen, E.C. Dickey, *J. Mater. Res.*, 16 (2001) 3331-3334
3. G.K. Mor, O.K. Varghese, M. Paulose, N. Mukherjee, C.A. Grimes, *J. Mater. Res.*, 18 (2003) 2588
4. Q. Cai, M. Paulose, O.K. Varghese, C.A. Grimes, *J. Mater. Res.*, 20 (2005) 230
5. A.G. Kontos, A.I. Kontos, D.S. Tsoukleris, V. Likodimos, J. Kunze, P. Schmuki, P. Falaras, *Nanotechnology*, 20 (2009) 045603
6. G.K. Mor, K. Shankar, M. Paulose, O.K. Varghese, C.A. Grimes, *Nano Lett.*, 5 (2005) 191
7. C.A. Grimes, O.K. Varghese, S. Ranjan, *The Solar Hydrogen Generation by Water Photoelectrolysis*, (2008) Springer
8. K. Shankar, G.K. Mor, H.E. Prakasam, S. Yoriya, M. Paulose, O.K. Varghese, C.A. Grimes, *Nanotechnology*, 18 (2007) 065707
9. F. Mura, A. Masci, M. Pasquali, A. Pozio, *Electrochimica Acta*, 55 (2010) 2246-2251
10. Y. Wang, C. Feng, Z. Jin, J. Zhang, J. Yang, S. Zhang, *J. Mol. Catal. A*, 260 (2006) 1-3
11. A. Ghicov, J.M. Macak, H. Tsuchiya, J. Kunze, V. Haeublein, L. Frey, P. Schmuki, *Nano Lett.* 6 (2006) 1080-1082
12. A. Ghicov, J.M. Macak, H. Tsuchiya, J. Kunze, V. Haeublein, S. Kleber, P. Schmuki, *Chem. Phys. Lett.*, 419 (2006) 426-429
13. K. Shankar, K.C. Tep, G.K. Mor, C.A. Grimes, *J. Phys D*, 39 (2006) 2361-2366
14. Q. Li, J.K. Shang, *Env. Sci. Tech.*, 43 (2009) 8923-8929
15. L. Dong, Y. Ma, Y. Wang, Y. Tian, G. Ye, X. Jia, *Mater. Lett.*, 63 (2009) 1598-1600
16. J. Xu, A. Yanhui, M. Chena, D. Fuc, *Appl. Surf. Sci.*, 256 (2010) 4397-4401
17. J.H. Park, S. Kim, A.J. Bard, *Nano Lett.*, 6 (2006) 24-28
18. K.S. Raja, M. Misra, V.K. Mahajan, T. Gandhi, P. Pillai, S.K. Mohapatra, *J. Power Sources* 161 (2006) 1450-1457
19. G. Wu, T. Nishikawa, B. Ohtani, A. Chen, *Chem. Mater.*, 19 (2007) 4530-4537
20. S.K. Mohapatra, M. Misra, V.K. Mahajan, K.S. Raja, *J. Phys. Chem. C*, 111 (2007) 8677-8685
21. R. Hahn, A. Ghicov, J. Salonen, V.P. Lehto, P. Schmuki, *Nanotechnology*, 18 (2007) 105604
22. N. Lu, H. Zhao, J. Li, X. Quan, S. Chen, *Separation and Purification Technology*, 62 (2008) 668-673
23. Y. Su, S. Han, X. Zhang, X. Chen, L. Lei, *Mat. Chem. Phys.*, 110 (2008) 239-246
24. A.L. Linsebigler, G. Lu, J.T. Yates, *Chem. Rev.*, 95 (1995) 735-758
25. J. Yang, D. Wang, H. Han, C. Li, *Accounts of Chemical Research*, 46/8 (2013) 1900-1909
26. Y. Surendranath, M.W. Kanan, D.G. Nocera, *J. Am. Chem. Soc.*, 132 (2010) 16501-16509
27. M. Dincă, Y. Surendranath, D.G. Nocera, *PNAS*, 107/23 (2010) 10337-10341
28. N.K. Shrestha, M. Yang, Y.C. Nah, I. Paramasivam, P. Schmuki, *Electrochemistry Communications*, 12 (2010) 254-257
29. P. Kamat, M. Flumiani, A. Dawson, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 202 (2002) 269-279
30. F. Mura, A. Pozio, A. Masci, M. Pasquali, *Electrochim. Acta* 54 (2009) 3794-3798
31. G. Dupuis, M. Menu, *Appl. Phys. A: Mater. Sci. Process.*, 83 (2006) 469
32. E.L. Simmons, *Appl. Opt.*, 14 (1975) 1380-1386
33. B.E. Yoldas, D.P. Partlow, *Thin Solids Films*, 129 (1985) 1-14
34. G.K. Mor, O.K. Varghese, M. Paulose, C.A. Grimes, *Adv. Funct. Mater.*, 15 (2005) 1291-1296
35. G. Burgeth, H. Kisch, *Coord. Chem. Rev.*, 230 (2002) 41-47
36. Y. Yamada, N. Matsuki, T. Ohmori, H. Mametsuka, M. Kondo, A. Matsuda et al., *Int. J. Hydrogen Energy*, 28 (2003) 1167-9.
37. O. Khaselev, A. Bansal, J.A. Turner, *Int. J. Of Hydrogen Energy*, 26 (2001) 127-32

# Energia, Ambiente e Innovazione in rete

La rivista **Energia, Ambiente e Innovazione** è disponibile **gratuitamente** sul web (per computer ed e-reader) e sui dispositivi mobili Apple:

- sul web alla pagina <http://www.enea.it/it/produzione-scientifica/EAI> tutti gli articoli pubblicati dal 2003 al 2014 in formato pdf e, a partire dal 2014, anche in formato epub, utilizzato per visualizzare i libri digitali
- sui dispositivi mobili Apple (iPhone, iPad e iPod touch) grazie ad una App liberamente reperibile in App Store

**Research & development**

## Photovoltaics and Net Zero Energy Buildings: new concepts towards a smart city vision

The wide use of renewables has changed the energy scenario in recent years, and the European Directive 2010/31/EU on Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) is going to be the driver of an even more radical shift. The building is going to be transformed into an energy generation system, and its design should consider not only the traditional design aspects, but the energy aspect, too. In particular, in the present paper two main issues will be addressed: the design of NZEBs with a special focus on PV and the broad concept of "smartness" with a focus on the role of the PV technology. Finally, some new research issues will be proposed as new topics to be investigated towards a smart city vision.

■ Alessandra Scognamiglio, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, Rossana Paparella, Erika Sarretta

The wide use of renewables has changed the energy scenario in recent years, and the European Directive 2010/31/EU on Nearly Zero Energy Buildings (NZEBs) is going to be the driver of an even more radical shift. The building is going to be transformed into an energy generation system, and its design should consider not only the traditional design aspects, but the energy aspect, too. In particular, in the present paper two main issues will be addressed: the design of NZEBs with a special focus on PV and the broad concept of "smartness" with a focus on the role of the PV technology. Finally, some new research issues will be proposed as new topics to be investigated towards a smart city vision.

performance of the energy grid, and significant energy savings; designing the physical form of the city shall consider the use of renewables in its domain. What is the role of Photovoltaics (PV), what are the new concepts that should face in the next years? research needs we should face in the next years? This paper tries to give some first possible answers to these questions. In particular, firstly some issues related to the design of Nearly (or Net) Zero Energy Buildings will be addressed, with a special focus on PV. Secondly, the broad concept of "smartness" is addressed with a focus on the role of the PV technology. Finally, some new research issues will be proposed as new topics to be investigated towards a smart city vision.

■ Alessandra Scognamiglio, Giovanna Adinolfi, Giorgio Graditi, Rossana Paparella, Erika Sarretta  
EAI | Energia, Ambiente e Innovazione | 49

### Introduction

In the marine environment, all immersed surfaces (natural or artificial) are rapidly colonized by a succession of organisms, the outcome being known as 'biofouling' (Figure 1). Within the first hours, surfaces are covered by microbial biofilms (microfouling)<sup>[13]</sup>, that influence the successive settlement, colonization and growth of macroorganisms (macrofouling)<sup>[14]</sup>. Biofilm formation is then followed within a week by diatoms (microalgae), spores of macroalgae (seaweeds), protists, fungi and protozoa, followed in turn by larvae of invertebrates such as barnacles (Linear successional surface colonization model)<sup>[15]</sup> (62, 63, 64, 65).

The implications of microbial biofilms in marine biology, and especially in relation to biofouling, have also been extensively studied, and a wide type of specific interactions between microbial biofilms (Figure 1 and 2) and fouling organisms<sup>[16, 17, 18, 19, 20]</sup> have been revealed. Microbial biofilms were shown to influence the settlement of marine organisms decades ago<sup>[64]</sup>. More recently, the formation, composition and physiology of bacterial biofilms have been studied, including their role in the environment<sup>[14, 15, 21]</sup>. It is now well established that density-dependent, cell-to-cell communication processes between bacteria, generally referred to as 'quorum sensing', control several important features of biofilms (e.g., development, virulence and dispersal stages)<sup>[66, 22, 23]</sup>.



FIGURE 1 - Microbial biofilm formation. Modified from <http://www.wiki.edu.vic.gov.au/biofouling>

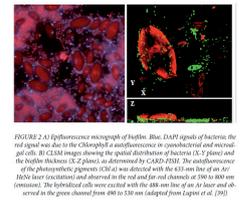


FIGURE 2 - a) Epifluorescence micrograph of biofilms. Blue DAPI signal of bacteria; the red signal was due to the Chlorophyll of a cyanobacteria or cyanobacterial and microalgal cells. b) CLSM images showing the spatial distribution of bacteria (DAPI signal) and the chlorophyll (Chl a) signal, as determined by CLSM (CLM). The autofluorescence of the phytoplankton (green) was detected with the 488 nm line of the argon-ion HeNe laser excitation and observed in the red and far-red channels at 590 to 680 nm emission. The hydrophobic cells were excited with the 488 nm line of an argon-ion laser and observed in the green channel from 490 to 530 nm (adapted from Legati et al., 2011)

**Energia, Ambiente e Innovazione**

**Energia, Ambiente e Innovazione - 2014**

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Gen.-Feb. 2014 Preview

**Energia, Ambiente e Innovazione - 2013**

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Nov.-Dic. 2013

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Settembre-Ottobre 2013

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Maggio-Agosto 2013

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Gen.-Feb. 2013

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Speciale 2013

**Energia, Ambiente e Innovazione - 2012**

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Novembre-Dicembre 2012

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Speciale 2012

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Luglio-Ottobre 2012 (2)

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Luglio-Ottobre 2012 (1)

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Maggio-Giugno 2012

**Energia, Ambiente e Innovazione**  
Speciale 2012